

Aus der Kinderchirurgischen Klinik und Poliklinik im
Dr. von Haunerschen Kinderspital
Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Dietrich von Schweinitz

Operative Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur im Kindesalter mit ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese – eine Komplikationsanalyse

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von Saskia Poreda
aus Neuwied am Rhein
2019

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Hans-Georg Dietz.....

Mitberichterstatter: PD Dr. Volker Braunstein.....

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. Blanca Schuster.....

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 07.11.2019.....

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
1 Einleitung und Fragestellung	1
1.1 Die suprakondyläre Humerusfraktur	1
1.1.1 Epidemiologie	1
1.1.2 Anatomie	2
1.1.2.1 Knochen	2
1.1.2.2 Gelenke	3
1.1.2.3 Leitungsbahnen	4
1.1.3 Klassifikation der suprakondylären Humerusfraktur	4
1.1.4 Diagnostik	6
1.1.4.1 Klinik und Symptome	6
1.1.4.2 Radiologische Diagnostik	6
1.1.5 Besonderheiten und Komplikationen	9
1.1.5.1 Nervenläsionen	10
1.1.5.2 Gefäßläsionen	12
1.1.5.3 Funktionelle Spätfolgen und Fehlstellungen	12
1.2 Behandlungskonzepte der suprakondylären Humerusfraktur	15
1.2.1 Konservatives Management	15
1.2.2 Operative Therapie: Reposition	15
1.2.3 Operatives Management	16
1.2.4 Nachbehandlung	16
1.2.4.1 Kirschnerdraht-Osteosynthese	16
1.2.4.2 ESIN	17
1.3 Die Osteosynthesemethoden ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese	18
1.3.1 ESIN	18
1.3.1.1 Geschichte und Entwicklung	18
1.3.1.2 Biomechanik	19
1.3.1.3 Operationstechnik, Implantate und Instrumente	19
1.3.1.4 Komplikationen	21
1.3.2 Kirschnerdraht-Osteosynthese	21
1.3.2.1 Geschichte und Entwicklung der Kirschnerdraht-Osteosynthese	21
1.3.2.2 Operationstechnik, Implantate und Instrumente	21
1.3.2.3 Typische Komplikationen	22
1.4 Fragestellung	22

2	Material und Methoden	25
2.1	Datenerfassung.....	25
2.1.1	Ein- und Ausschlusskriterien	25
2.1.2	Fragebogen	25
2.2	Statistische Auswertung	27
2.2.1	Statistische Programme	27
2.2.2	Statistische Tests.....	27
2.2.2.1	Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest.....	27
2.2.2.2	Exakter Test nach Fisher.....	29
2.2.2.3	T-Test für Mittelwertunterschiede zwischen zwei unabhängigen Stichproben	30
2.2.2.4	F-Test für Mittelwertunterschiede zwischen drei unabhängigen Stichproben (einfache Varianzanalyse)	31
3	Ergebnisse.....	33
3.1	Deskriptive Statistik	33
3.2	Statistische Auswertung	43
3.2.1	Alter und Frakturtyp.....	43
3.2.2	Geschlecht und Frakturtyp.....	44
3.2.3	Operationsmethode und Frakturtyp	44
3.2.4	Behandlungszeitpunkt und Wartezeit bis zur Operation	45
3.2.5	Komplikationsanalyse.....	47
3.2.6	Das Auftreten von Komplikationen bei ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese.....	49
3.2.7	Behandlungsdauer, stationärer Aufenthalt und Sportkarenz bei ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese.....	52
3.2.8	OP-Zeitpunkt und Komplikationsrate	53
3.2.9	Häufigkeit und Auftreten der postoperativen N.-ulnaris-Läsion	54
4	Diskussion	57
4.1	Komplikationsanalyse	61
5	Zusammenfassung	69
6	Literaturverzeichnis	73
6.1	Abkürzungsverzeichnis	80
6.2	Tabellenverzeichnis	81
6.3	Abbildungsverzeichnis	84
7	Danksagung	85

1 Einleitung und Fragestellung

1.1 Die suprakondyläre Humerusfraktur

Die suprakondyläre Humerusfraktur ist die häufigste Ellenbogenverletzung im Wachstumsalter. Aufgrund der speziellen Anatomie, der Dislokationsneigung und der ihr eigenen Komplikationen nimmt die Fraktur eine Sonderstellung ein. Die Prognose wird unter anderem durch die iatrogenen Komplikationen, die Wachstumsstörungen und die Bewegungseinschränkungen bestimmt.

Es gab in den letzten Jahrzehnten verschiedene Therapiekonzepte. Die chirurgische Behandlung ist heutzutage am häufigsten die Kirschnerdraht-Osteosynthese mit Ruhigstellung im Oberarmgips. Als alternative Osteosynthesetechnik, die jedoch nicht die gleiche Verbreitung gefunden hat, ist die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) möglich (58).

Seit der Mitte des 20. Jahrhunderts hat das Verfahren der intramedullären Osteosynthese eine rasch fortschreitende Entwicklung, auch in der Kinderchirurgie, durchlaufen. Seit in Nancy die elastisch-stabile Marknagelung (ECMES – l'embrochage centro-medullaire élastique stable) eingeführt wurde (105, 106, 107), scheint ein Verfahren zur Verfügung zu stehen, das die Anforderung der Behandlung der Fraktur erfüllt: „Restitutio ad integrum“ in möglichst kurzer Zeit, ohne Immobilisation der betroffenen Extremität, durch eine minimalinvasive Technik. Durch das schonende, frakturferne Einbringen der Nägel bleiben potenziell verletzliche Strukturen der Ellenbeuge unberührt (58). Da die mit der elastisch-stabilen Nagelung behandelte suprakondyläre Humerusfraktur ohne zusätzliche Ruhigstellung nachbehandelt werden kann (15, 32), beeinflusst die frühe Möglichkeit der Spontanmobilität die Frakturheilung zusätzlich positiv. Die Entfernung der Implantate erfolgt in einem ambulanten Eingriff, die kosmetischen Resultate sind überaus zufriedenstellend (58).

Die typischen Komplikationen im Zuge der operativen Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur sowie der Behandlungsverlauf bei den unterschiedlichen Osteosyntheseverfahren Kirschnerdraht-Osteosynthese und ESIN werden in dieser Studie retrospektiv untersucht. Alle Patienten, die in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals von Januar 2007 bis August 2014 eine operative Versorgung durch ESIN oder Kirschnerdraht-Osteosynthese bei suprakondylärer Humerusfraktur erhielten, wurden in die Studie eingeschlossen. Es wurden Unfallursache, Frakturtyp, intra- und postoperative Komplikationen, neurovaskuläre Verletzungen, Bewegungseinschränkungen, Wachstumsstörungen und verbleibende Fehlstellungen, wie der Cubitus varus oder valgus, erfasst und analysiert.

1.1.1 Epidemiologie

Das Risiko, eine Extremitätenfraktur zu erleiden, liegt laut Kraus 2010 (17) im mitteleuropäisch-städtisch geprägten Umfeld bei 2,1–2,5 % pro Jahr. Das Risiko, bis zum Abschluss des Wachstumsalters eine Fraktur zu erleiden, liegt bei 15–45 %, bei steigender Tendenz. Humerusfrakturen stellen dabei ca. 20 % der Frakturen langer Röhrenknochen im Wachstumsalter dar (1, 17), Ellenbogenfrakturen 7–9 % (22). Die suprakondyläre Humerusfraktur ist dabei die zweithäufigste Verletzung der oberen Extremität beim Kind, noch häufiger ist nur die distale Unterarmfraktur (1, 5, 29). Laut Holt 2018 (99) liegt die Wahrscheinlichkeit, eine suprakondyläre Humerusfraktur zu erleiden, bei 0,06–0,07 % pro Jahr.

Der Häufigkeitsgipfel liegt je nach Literatur um das fünfte oder sechste Lebensjahr (1, 2, 7, 11, 22, 24, 25, 28, 30, 32, 34, 42, 47, 49, 99). Das Auftreten von suprakondylären Humerusfrakturen, über das Jahr hinweg betrachtet, zeigt einen Trend zu den Sommermonaten hin (24, 28, 46, 99).

In verschiedensten Studien wurde die Geschlechterverteilung bei Frakturen im Kindesalter untersucht. Je nach Literaturangabe erleiden Jungen 1,2- bis 1,6-mal häufiger Frakturen der langen Röhrenknochen als Mädchen (1, 5, 17). Dies wurde auch bei der suprakondylären Humerusfraktur beobachtet (Verhältnis 2:1) (5, 28, 34, 35, 44, 45, 49), neuere Studien weisen jedoch für die suprakondyläre Humerusfraktur keine geschlechtstypischen Verteilungen mehr auf (99).

Häufiger als die Typ-II- und Typ-III-Frakturen tritt die Typ-I- oder Typ-IV-Fraktur auf. Laut Weinberg 2002 (25) variiert die Häufigkeit der einzelnen Typen je nach Altersklasse. Der Anteil der Typ-I-Frakturen sinkt mit steigendem Alter, der Anteil der Typ-IV-Frakturen steigt an. Offene Frakturen sind sehr selten und werden mit Häufigkeiten um 1 % angegeben (11, 25, 99). Der linke Arm ist häufiger betroffen (5, 24, 25, 34, 44, 45, 49).

Der Unfallhergang ereignet sich oft durch den Sturz auf den gestreckten Arm beim Spielen (s. Abb. 1), jedoch können auch Verkehrsunfälle oder der Sturz aus größerer Höhe ursächlich für die Verletzung sein (114).



Abbildung 1: Zeichnung eines Kindes, das in typischer Art und Weise auf den ausgestreckten Arm stürzt [eigene Zeichnung].

Der Locus minoris resistentiae befindet sich im Ellenbogen zwischen Fossa supracondylaris und Fossa olecrani (86). Man unterscheidet zwischen Extensions- und Flexionsfrakturen. Beiden Frakturtypen liegen unterschiedliche Unfallhergänge zugrunde. Im selteneren Fall (ca. 2–4 % der Fälle), bei dem das Kind auf den gebeugten Arm fällt, entsteht eine Flexionsfraktur durch die direkte Krafteinwirkung auf das Olecranon (11, 40, 100). So kommt es zu einer ventralen Dislokation des distalen Fragmentes (8, 11, 22).

1.1.2 Anatomie

Um das klinische Erscheinungsbild, die Diagnostik und die Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur und die daraus resultierenden speziellen Komplikationen besser zu verstehen, soll zunächst auf die Anatomie des Ellenbogens und des Oberarms eingegangen werden.

Die suprakondyläre Humerusfraktur läuft proximal vom Ellenbogengelenk. Sie ist eine metaphysäre Fraktur ohne Gelenkbeteiligung.

Intraartikuläre Frakturen kommen im Kindesalter viel seltener vor als extraartikuläre, und zwar in einem Verhältnis von 1:50 (16). Durch die noch aktive Wachstumsfuge wird eine weitere Frakturausdehnung durch das Gelenk oft verhindert. Die offene Fuge fungiert als Puffer gegenüber dem axialen Trauma (8, 16, 38).

Es kommt durch eben diese Gegebenheiten häufiger zu Epiphysenlösungen und metaphysären Frakturen (16). Die häufigste Fraktur des distalen Humerus ist eine metaphysäre Fraktur, die suprakondyläre Humerusfraktur.

1.1.2.1 Knochen

Der Humerus ist ein Röhrenknochen. Er besteht aus einer proximalen und einer distalen Epiphyse sowie einer Diaphyse. Am distalen Drittel der Humerusdiaphyse verläuft der N. radialis im Sulcus nervus radialis von kranial-medial nach distal-lateral zur Ellenbeuge (87). Neben den begleitenden Leitungsbahnen müssen speziell beim Skelett im Rahmen von Frakturen und möglichen Begleitverletzungen die Spätfolgen bei Verletzung der Ossifikationszentren und Wachstumsfugen beachtet werden. Sowohl die Epiphyse als auch die Apophysen sind durch Wachstumsfugen vom übrigen Skelett getrennt. Das Ellenbogengelenk beinhaltet drei epiphysäre und drei apophysäre Ossifikationszentren. Die Apophysen bilden den Ansatz bzw. Ursprungspunkt der Unterarm- und Oberarmmuskulatur und sind von daher besonders beansprucht. Es

handelt sich hierbei um den Epicondylus medialis und lateralis und um das Olecranon (40). Wachstumsstörungen können nur auftreten, solange die Wachstumsfugen noch offen sind (8).

Das distale Ende des Humerus stellen die Trochlea humeri und das Capitulum humeri dar, die den proximalen Gelenkkörper bilden (87). Die Achse der Humerusepikondylen ist gegenüber der Achse des proximalen Humerus um $14\text{--}20^\circ$ nach außen rotiert (20). Distal sind die Ulna und der proximale Radius die gelenkbildenden Teile, die dem M. triceps brachii als Ansatz dienen (87). In der Fossa olecrani, dorsal des Humerus, liegt ein posteriores Fettpolster, das bei Ellenbogenflexion hier Platz findet, bei Ellenbogenextension dem Processus olecrani nach kranial ausweicht (40).

1.1.2.2 Gelenke

Humerus, Radius und Ulna bilden das Ellenbogengelenk. Es besteht aus drei Teilgelenken: dem Humeroulnar-, Humeroradial- und dem proximalen Radioulnargelenk. Gemeinsam bilden diese Gelenke ein Drehscharniergelenk mit gemeinsamer Gelenkhöhle und einer Gelenkkapsel (20, 37, 40, 87). Die Gelenkkapsel des Ellenbogengelenks umschließt nicht die beiden Epikondylen, sie liegen frei (20). Physiologisch besteht im Ellenbogengelenk ein geringer Cubitus valgus. Je nach Autor variiert das Ausmaß des physiologischen Cubitus valgus von 5° bis 6° (11) bis zu $10^\circ\text{--}20^\circ$ (101). Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass der physiologische Cubitus valgus bei Frauen und Kindern größer ist als bei Männern und mit dem Alter um einige Grade zunimmt (96).

Die Freiheitsgrade des Ellenbogengelenkes beinhalten Flexion, Extension, Pronation und Supination. Die Ausmaße der Freiheitsgrade sind in Tabelle 1 beschrieben.

Das Bewegungsausmaß der Freiheitsgrade wird mithilfe der Neutral-Null-Methode beschrieben.

Der physiologische Bewegungsumfang des Ellenbogens beträgt in Flexion/Extension $150/0/0^\circ$ bis $150/0/10^\circ$. Kann die Neutralstellung eines Gelenkes, aufgrund eines Traumas oder eines Wachstumsschadens, nicht mehr eingenommen werden, so wird der mittlere Wert nicht mehr mit 0° bezeichnet. Dieser Wert wird nun an der Seite angegeben, an der das Defizit besteht. Leidet ein Patient beispielsweise an einem Streckdefizit von 45° , wird dieses nach Neutral-Null-Methode folgendermaßen angegeben: $150/45/0^\circ$. Ist zusätzlich noch die Flexion um 50° eingeschränkt, erfolgt folgende Bezeichnung: $100/45/0^\circ$. In diesem Fall ist die Auslenkung des Gelenkes nur zwischen 100° und 45° möglich. Die Neutralstellung des Gelenkes wird nicht mehr erreicht.

Ist das Gelenk komplett versteift, wird mit der Neutral-Null-Methode die fixierte Gelenkstellung angegeben. Bei einer Fixation in 15° -Beugstellung hieße der Befund: $15/15/0^\circ$. Das Bewegungsausmaß beträgt Null (77, 78, 81).

Das Bewegungsausmaß des Ellenbogengelenkes wird durch knöcherne Strukturen und Weichteilgewebe beschränkt, die Extension durch den Anschlag des Olecranons in die Fossa olecrani, die Flexion durch Muskulatur und Weichteile. Das Bewegungsausmaß des proximalen Radioulnargelenkes beträgt $90/0/90^\circ$ für Supination und Pronation (20).

Teilgelenke	Gelenk- körper proximal	Gelenk- körper distal	Gelenktyp	Bewegungs-achse	Bewegungsausmaß	Bewegungs-ebene
Articulatio humero-ulnaris	Trochlea humeri	proximale Ulna	Scharniergelenk	Transversalachse	Flexion, Extension (150/0/0°)	Frontalebene
Articulatio humero-radialis	Capitulum humeri	Fovea articularis des Caput radii	Scharniergelenk	Transversalachse	Flexion, Extension (150/0/10°)	Frontalebene
Articulatio radio-ulnaris proximalis	Incisura radialis der Ulna	Circumferentia articularis des Radiuskopfes	Radgelenk	Schräg zur Längsachse des Unterarmes	Pronation, Supination (90/0/90°)	Longitudinalachse

Tabelle 1: Dargestellt werden die Teilgelenke des Ellenbogengelenkes mit Bewegungsachsen, Bewegungsausmaß (in Neutral-Null-Methode) und Bewegungsebene (20, 37).

1.1.2.3 Leitungsbahnen

Der Verlauf der Leitungsbahnen und Gefäße am Ellenbogen ist wichtig zum Verständnis möglicher Komplikationen. In der Fossa cubitalis sind zum einen die wichtigen, den Unterarm versorgenden Arterien zu finden (A. radialis und A. ulnaris), die sich hier aus der A. brachialis unter der Bizepsaponeurose herauspalten. Zum anderen verlaufen dort ventromedial der N. medianus (mit der A. brachialis) und ventrolateral der N. radialis. Diese ventral verlaufenden Strukturen sind besonders bei den häufigeren Extensionsfrakturen, bei denen die scharfkantigen Frakturfragmente nach ventral verschoben werden, gefährdet. Klinisch präsentiert sich ein Arteria-brachialis-Defekt, trotz guter Versorgung des Ellenbogens durch Kollateralen, durch den nicht mehr tastbaren A.-radialis/ulnaris-Puls (20, 36, 122). Der Nervus ulnaris zieht im Sulcus nervi ulnaris dorsal des Epicondylus medialis nach distal und verläuft medial zwischen den Capiti des M. flexor carpi ulnaris (37). Diese Stelle hat eine enge anatomische Beziehung zum medialen Zugang der perkutanen Kirschnerdrahtspickung. Hier besteht die Gefahr der iatrogenen Nervus-ulnaris-Schädigung.

1.1.3 Klassifikation der suprakondylären Humerusfraktur

Die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) für Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter hat sich hinsichtlich der Therapierelevanz und einfachen Praktikierbarkeit am geeignetsten erwiesen (65). Wie üblich bei der AO-Klassifizierung der Frakturen, kann diese durch einen fünfstelligen Code beschrieben werden. Im Falle eines Zusatz- oder Ausnahmecodes wird ein sechster Code hinzugefügt. Dargestellt sind die einzelnen Codes in Tabelle 2.

Die Ausnahme- und Zusatzcodes beinhalten Übergangsfrakturen, knöcherne Bandverletzungen und Apophysenfrakturen. Auch die suprakondylären Frakturen, die Radiushalsfrakturen und die Schenkelhalsfrakturen erhalten eine zusätzliche Ziffer. Suprakondyläre Humerusfrakturen erhalten die Codierung 13-M/3 (61).

Im deutschsprachigen Raum wird zur Klassifikation der suprakondylären Humerusfraktur häufig die Klassifikation nach Laer verwendet. Die angewandte Klassifikation nach der AO Pediatric Comprehensive Classification in Zusammenarbeit mit Laer beinhaltet vier Frakturtypen (5, 9, 22), die in Tabelle 3 beschrieben sind und im Folgenden auch in dieser Arbeit verwendet werden.

Knochencode	1 = Humerus	2 = Radius(r)/Ulna(u)	3 = Femur	4 = Tibia(t)/Fibula(f)
Segmentcode	1 = proximale Epiphyse/ Metaphyse	2 = Diaphyse	3 = distale Epiphyse/ Metaphyse	
Typcode	E = Epiphyse	D = Diaphyse	M = Meta-physe	
Kindercode	E/1-E/9	D/1-D/9	M/2, M/3, M/7, M/9	
Frakturschweregradcode	1 = einfach (partiell instabil, ≤ 3 Fragmente)	2 = komplex (instabil, > 3 Fragmente)		
Dislokationsgrad	distaler Humerus (suprakondyläre Humerusfraktur): I- IV	proximaler Radius: I-III	proximaler Femur: I- III	

Tabelle 2: Frakturklassifikationsschema nach AO Pediatric Comprehensive Classification [Slongo T, Audige L: „AO Pediatric Classification Group (2007) AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fracture (PCCFF)“ in: www.aofoundation.org, September 2010].

Suprakondyläre Humerusfrakturen lassen sich außerdem zusätzlich nach dem Unfallmechanismus (Extensionstyp oder Flexionstyp) klassifizieren (61). Die im englischsprachigen Raum häufig verwendete Gartland-Klassifikation von 1959 (50, 51) wird in Tabelle 4 beschrieben.

Weitere Klassifikationen stellen die Einteilungen nach Baumann und Felsenreich dar, die laut Laer 2011 (10) klinisch nicht relevant sind und auf deren Darstellung verzichtet wird.

Frakturtyp	Dislokation	Rotations-komponente	Stabilität
Typ I	keine	keine	stabil
Typ IIa	nur in der sagittalen Ebene ($< 30^\circ$ Antekurvation)	keine	stabil
Typ IIb	nur in der sagittalen Ebene ($> 30^\circ$ Antekurvation mit Seitverschiebung)	keine	drohend instabil
Typ III	Dislokation in 2 Ebenen, Kontakt der Fragmente vorhanden	möglich	instabil
Typ IV	Dislokation in 3 Ebenen, kein Kontakt der Fragmente	vorhanden	instabil

Tabelle 3: Frakturklassifikation der suprakondylären Humerusfraktur nach Laer (5, 11, 22, 65).

Gartland-Klassifikation	
Typ 1	Frakturen ohne Dislokation
Typ 2	Frakturen mit Dislokation in einer Ebene
Typ 3	Frakturen mit kompletter Dislokation der Fragmente ohne Kontakt der Frakturfragmente
Typ 4	offene Frakturen mit neuronalen oder vaskulären Läsionen

Tabelle 4: Gartland-Klassifikation (50, 51).

Bei allen Frakturtypen ist in der Vorgeschichte ein adäquates Trauma zu eruieren. Die Typ-I-Fraktur gilt als grundsätzlich stabil. Sie benötigt keine Reposition, die Indikation zur operativen Therapie ist bei Typ-I-

Frakturen nie gegeben (65). Bei Typ-II-Frakturen ist oft nur radiologisch eine Extensionsstellung sichtbar. Es handelt sich bei der Typ-II-Fraktur um eine Fraktur, die lediglich in der Sagittalebene verschoben ist, jedoch kann auch hier eine Unterscheidung in stabile und instabile Frakturen bei Antekurvation von mehr beziehungsweise weniger als 30° vorgenommen werden (5, 22).

Bei Typ-III- und Typ-IV-Frakturen besteht eine Dislokation in mindestens zwei Ebenen, bei Typ-IV-Frakturen besteht kein Kontakt der zwei Frakturfragmente (5).

1.1.4 Diagnostik

1.1.4.1 Klinik und Symptome

Die klinischen Zeichen der suprakondylären Humerusfraktur sind ein geschwollener, schmerzhafter Ellenbogen (5, 11, 22, 55), einhergehend mit einer Fehlstellung und/oder Bewegungseinschränkungen des betroffenen Armes (55), je nach Ausmaß der Dislokation (22, 58). Der Unterarm steht in Pronation, der Ellenbogen imponiert ödematös und geschwollen (11). Bei vollständiger Dislokation der Fragmente kann eine S-förmige Verbiegung des Humerus zu sehen sein (5).

Dislozierte Extensionsverletzungen können sich mit einer ventral sichtbaren und tastbaren Prominenz präsentieren (5). Die Anamnese sollte ein verletzungsadäquates Trauma beinhalten (22, 55), zum Beispiel den oft von den Eltern berichteten Sturz auf die Hand (11). Inadäquate Traumata können ursächlich bei Knochentumoren oder -zysten sein (4). Durchblutung, Sensibilität und Motorik müssen bei der initialen Untersuchung gut dokumentiert werden, um eine Unterscheidung der primären Verletzung von einer möglichen iatrogenen Verletzung zu ermöglichen (11, 21, 22, 55). Die Beurteilung der peripheren Durchblutung ist bei Typ-III- und Typ-IV-Frakturen und bei fraglicher Klinik gegebenenfalls via Doppler-Sonografie durchzuführen (22).

	N. radialis	N. ulnaris	N. medianus
motorische Ausfälle	Dorsalextension des Handgelenkes, Extension der Fingergrundgelenke	Abduktion des Daumens, Beugung der Finger in den Fingergrundgelenken, Fingerspreizen	mangelnde Flexion von Daumen, Digit II und III im DIP, Opponieren und Abduktion des Daumens, Störung der Greiffunktion
sensible Ausfälle (Autonomiegebiet)	radiale Seite des Handrückens, Streckseite des Daumens (I. Spatium interosseum zwischen Daumen und Zeigefinger)	ulnare Hand palmar- und dorsalseitig (kleiner Finger)	palmar-radiale Handfläche inkl. Daumenballen (Fingerkuppen der radialen 2 1/2 Finger)
klinische Zeichen	„Fallhand“	„Krallenhand“, positives Fromment-Zeichen	„Schwurhand“, positives „Flaschenzeichen“
Muskelatrophie		Atrophie der Mm. interossei	Thenaratrophie

Tabelle 5: Dargestellt werden die motorischen und sensiblen Ausfälle sowie die klinischen Zeichen bei Läsionen von N. radialis, N. ulnaris und N. medianus (82, 83, 85).

1.1.4.2 Radiologische Diagnostik

Die primäre Diagnostik besteht aus einem Röntgenbild des betroffenen Ellenbogens in zwei Ebenen (40). Bei ausgeprägter Fehlstellung kann auch das Röntgen in einer Ebene zur OP-Indikationsstellung ausreichend sein (22). CT und MRT sind nicht indiziert (5). Okkulte Frakturen sind zwar eventuell im MRT und nicht im Röntgen zu sehen, die Durchführung bringt jedoch keinen Nutzen, da die therapeutische Konsequenz in jedem Falle eine konservative wäre (18, 55).

Die Diagnose der suprakondylären Humerusfraktur ist einfach zu stellen, wenn eine dislozierte Fraktur des Typs III oder IV nach Laer besteht. Bei nicht dislozierten Frakturen ist der Bruch in Form einer Infraktion oft nicht zu erkennen. So kann die Diagnose oft nur mit Hilfsmitteln wie der Rogers-Hilfslinie oder anhand indirekter radiologischer Zeichen wie dem positiven „Fett-Zeichen“, der Klinik und dem Verlauf gestellt werden (8, 10, 40).

Die Rogers-Hilfslinie (auch vordere Humeruslinie oder anterior humerus line genannt) wird im lateralen Röntgenbild angewendet (34, 53). Diese Linie beginnt bei der lateralen Aufnahme des Ellenbogens in Flexion, an der anterioren Kante der Humerusdiaphyse und zieht als Verlängerung der ventralen Humeruskante weiter bis durch das Capitulum humeri. Physiologisch teilt die Rogers-Hilfslinie das Capitulum am Übergang vom mittleren zum hinteren Drittel (3, 34, 40). Ist der Kreuzungspunkt der Linie mit dem Capitulum humeri nach ventral verlagert, zeigt dies eine Extensionsfraktur an, ist sie nach dorsal verlagert, eine Flexionsfraktur (40).

Liegt eine Rotation vor, dienen der Rotationssporn und der Kalibersprung der Diagnosestellung. Die Metaphyse erscheint in seitlicher Ansicht breiter und bildet den ventralen Sporn (11), im Gegensatz zur Seit-zu-Seit-Verschiebung, bei der die Durchmesser von proximalem und distalem Fragment keinen größeren Unterschied zeigen. Das Ausmaß der Seit-zu-Seit-Verschiebung sollte in Anteilen der Schaftbreite ausgedrückt werden (8).

Die radiokapitellare Linie ist in anterior-posterioren und lateralen Aufnahmen sichtbar und erstreckt sich von der Mitte des proximal-radialen Schaftes nach proximal, um das Zentrum des Capitulum zu schneiden. Schneidet diese Linie nicht das Capitulum, ist von einer Dislokation oder Subluxation im radiokapitellären Gelenk auszugehen (53). Dies ist typischerweise bei suprakondylären Frakturen nicht der Fall, kommt jedoch bei Monteggia-Frakturen vor.

Das „Fett-Zeichen“ ist ein zusätzliches wertvolles diagnostisches Hilfsmittel und ein indirektes radiologisches Zeichen, das auf eine Fraktur hinweist. Das sogenannte „Fettpolsterzeichen“, in Abbildung 2 dargestellt, zeigt einen Gelenkerguss an, der die Fettpolster des Ellenbogengelenks nach vorne oder hinten verdrängt und sie so im Röntgen sichtbar werden lässt (11, 18, 40, 53). Im Falle der suprakondylären Humerusfraktur ist es das Hämarthros, das die Fettpolster aus ihren ursprünglichen Räumen verdrängt (40). Das vordere Fettpolster rutscht also aus der Fossa coronoidea und der Fossa radialis nach vorne und das hintere aus der Fossa olecrani hervor (18, 40). Es weist allerdings nicht jede Fraktur ein positives „Fett-Zeichen“ auf (18).



Abbildung 2: Anteriores „fat-pad-sign“ (Pfeil), posteriores „fat-pad-sign“ (Dreieck) [Gaurav G: „The Fat Pad Sign“ – Radiology (2000), 222 (2), pp. 419–420].

Bei gering dislozierten Frakturen erweist sich die therapeutisch relevante Differenzierung in stabile und instabile Verletzungen als schwierig (3). Daher sollte eine radiologische Stellungskontrolle im Gips nach fünf bis sieben Tagen erfolgen. Ein weiteres radiologisches Hilfsmittel ist der Baumann-Winkel. Zur Bestimmung ist eine a.-p. Projektion im Röntgen, jedoch keine vollständige Streckung des Gelenkes erforderlich. Der Baumann-Winkel ergibt sich durch eine Gerade durch die Epiphysenfuge des lateralen Kondylus des Humerus und die Längsachse des Humerus. Nach erfolgreicher Reposition sollte dieser 75° – 80° betragen.

Dieser Normbereich wurde durch Williamson et al. 1992 erweitert auf 64° – 81° (96). Der humerotrochleare Winkel besteht aus einer longitudinalen Linie am Humerusschaft und einer axialen Linie entlang der Kondylen. Er dient ebenfalls zur Abschätzung der Dislokation. Der physiologische Wert liegt bei 40° (34).

In Tabelle 6 sind die radiologischen Zeichen der suprakondylären Humerusfraktur zusammenfassend dargestellt.

In Abbildung 3 und Tabelle 7 sind die Diagnosefindung und die Behandlungskonzepte sowie die typische Klinik und Radiologie der suprakondylären Humerusfraktur zusammengefasst.

anatomisches Korrelat	radiologische Zeichen
Extensionsfraktur	Kreuzungspunkt der Rogerschen Hilfslinie auf dem Capitulum humeri nach ventral verlagert
Flexionsfraktur	Kreuzungspunkt der Rogerschen Hilfslinie auf dem Capitulum humeri nach dorsal verlagert
Rotationsfehlstellung	Rotationssporn, Kalibersprung
Dislokation	Humerotrochlealer Winkel $> 40^{\circ}$, radiokapitellare Linie schneidet nicht das Cap. humeri
Gelenkerguss	„fat-pad-sign“
erfolgreiche Reposition	Baumann-Winkel

Tabelle 6: Dargestellt sind radiologische Zeichen bei Röntgenaufnahmen der suprakondylären Humerusfraktur (3, 11, 34, 40, 96).

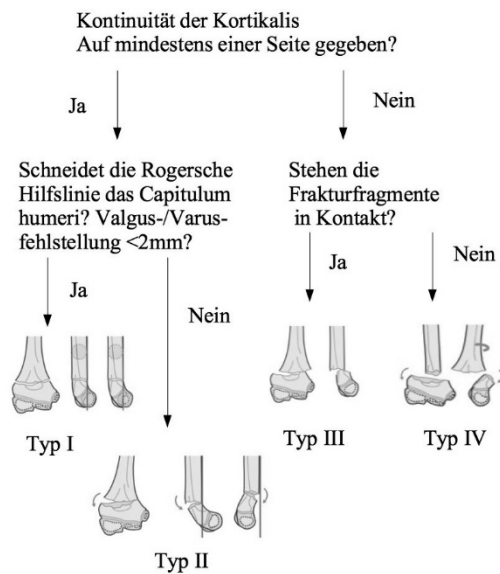


Abbildung 3: Einteilung der Frakturtypen I-IV der suprakondylären Humerusfraktur nach Laer [Schneidmüller D, Marzi I, Meenen N: Suprakondyläre Humerusfraktur beim Kind, in: www.awmf.org (AWMF online der Leitlinienkommission der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.) Oktober 2015].

	Klinik	Radiologie	Reposition	Operation
I	gering ausgeprägt, geringe Schwellung	schwer zu erkennen, evtl. nicht sichtbar, evtl. fat-pad-sign, periostaler Abstützungskallus nach ca. 2 Wochen	nein	nein
II	abhängig vom Grad der Dislokation	Extensions- bzw. Flexionsstellung, Antekurvatur in 95 % der Fälle, evtl. fat-pad-sign	abhängig vom Grad der Dislokation	abhängig vom Grad der Dislokation
III	abhängig vom Grad der Dislokation. Nerven und Gefäßläsionen möglich	Extensions- bzw. Flexionsstellung, evtl. Antekurvatur, evtl. Rotationssporn, evtl. fat-pad-sign	ja	ja
IV	stark ausgeprägt, ödematöser Ellenbogen, evtl. verkürzte Extremität, evtl. S-förmiger Humerus, Nerven- und Gefäßläsionen möglich	Extensions- bzw. Flexionsstellung, evtl. Antekurvatur, evtl. Rotationssporn, evtl. fat-pad-sign	ja	ja

Tabelle 7: Klinik, Radiologie und Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur je nach Frakturtyp nach Laer [Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 3.Aufl., Stuttgart; NewYork: Thieme 1996]

1.1.5 Besonderheiten und Komplikationen

Sowohl das Trauma selbst als auch die Reposition und die Fixation weisen aufgrund der Anatomie und der in unmittelbarer Umgebung verlaufenden neurovaskulären Strukturen ein erhöhtes Komplikationspotenzial auf. Des Weiteren ist das Korrekturpotenzial von Fehlstellungen und Deformitäten dieser Fraktur als eher gering anzusehen, da das Wachstumspotenzial der distalen Humerusepiphyse lediglich mit einem Anteil von 20 % am Längenwachstum des Humerus beteiligt ist. Fehlstellungen, die an anderen Stellen des Skeletts in großem Ausmaß korrigiert werden, werden bei der suprakondylären Humerusfraktur in geringerem Ausmaß spontan korrigiert (3, 7, 11, 12, 38).

Die Komplikationsrate wird je nach Literatur in einem Bereich von 6,2–7,1 % angegeben. Hierbei wurden stets primäre, iatrogene und sich im weiteren Verlauf manifestierende Komplikationen zusammengefasst. Die Dauer bis zur Wiederherstellung der vollen Beweglichkeit nach aufgetretenen Komplikationen kann bei bis zu zwei bis sechs Jahren liegen (41).

Bei suprakondylären Humerusfrakturen können primär und während des Behandlungsverlaufes verschiedene Komplikationen entstehen (55).

Etwa 1 % der dislozierten Frakturen werden von einer Gefäßläsion begleitet. Eine vorübergehende Nervenläsion kommt in 8–10 % der Fälle vor (5). Nervenläsionen und Gefäßläsionen sind häufig vergesellschaftet. Eine wiederholt missglückte Reposition kann zum Beispiel eine sekundäre Einklemmung von A. brachialis und N. medianus nach sich ziehen (122). In ca. 5 % der Fälle kommt es zu Infektionen, allerdings scheinen über dem Haut-niveau liegende Nägel keinen Einfluss auf das Infektionsrisiko zu haben (25). Wachstumsstörungen entstehen durch das Verletzen der Wachstumsfuge und die damit einhergehende Abweichung der physiologischen Achse im späteren Wachstum. Eine Bewegungseinschränkung (Extension und/oder Flexion) entsteht durch nicht ausreichende Reposition. Der Cubitus varus oder valgus entsteht vor allem durch nicht ausreichende Reposition und Belassen einer Rotation des Humerusschaftes. Durch das geringe Wachstumspotenzial der distalen Humerusepiphyse und den mangelnden funktionellen Stimulus in der Frontalebene werden Deformitäten wie ein Cubitus varus oder Cubitus valgus im Verlauf nicht korrigiert. Bewegungseinschränkungen infolge von Fehlstellungen in der Sagittalebene wie Ante- und Rekurvationsfehlstellungen sowie Seit-zu-Seit-Verschiebungen können je nach Alter und Ausmaß im Verlauf meist gut korrigiert werden.

Der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Komplikationsrate wird aktuell kontrovers diskutiert. Ein Faktor, der das Auftreten einer komplexen Fraktur und das Auftreten neuronaler Läsionen sowie die Notwendigkeit einer offenen Reposition wahrscheinlicher macht, ist nach neueren Studien das Übergewicht im Kindesalter (BMI > 23) (43, 98, 110, 111). Auch existieren bereits Daten, die darauf hindeuten, dass das Auftreten von postoperativen Komplikationen bei operativ versorgten suprakondylären Humerusfrakturen im Kindesalter bei übergewichtigen Kindern wahrscheinlicher ist (97).

Das Risiko, eine per se komplikationsträchtigere, offene Fraktur zu erleiden, ist laut Holt 2018 (99) signifikant höher bei älteren und männlichen Patienten. Im Mittel waren hier die Patienten mit offenen Frakturen 9,1 Jahre alt, das Risiko, eine offene Fraktur zu erleiden, war für männliche Patienten 1,4-fach erhöht.

Laut Murnaghan 2010 (42) hat die Dauer der Operation oder die Dauer der Wartezeit ab dem Eintreten des Frakturereignisses bis zur Operation keinen Einfluss auf die Komplikationsrate. Auch Gupta 2004 (69) und Mehlmann 2001 (84) beschrieben keine signifikante Änderung der perioperativen Komplikationsrate wie zum Beispiel durch Pin-Infektionen, iatrogene Nervenläsionen oder ungeplanten Technikwechsel bei Patienten, deren Fraktur erst nach einer Wartezeit von über acht bzw. zwölf Stunden erfolgte.

Die früher häufiger dokumentierte, heute seltener gewordene Volkmann-Kontraktur entsteht als Folge eines Kompartementsyndroms durch einschnürende Gipsverbände und ein ausgeprägtes Ödem bei Flexionsstellung des Armes (8, 11, 81). Bei neu aufgetretenen neurologischen Störungen und Störungen der Durchblutung sowie beim Auftreten von durch passive Bewegungen ausgelösten Krämpfen ist die Indikation zur sofortigen Spaltung des Gipsverbandes zu stellen. Der Unterarm des Patienten erscheint geschwollen und blautot verfärbt. Die Finger sind gefühllos und unbeweglich. Es ist kein A.-radialis- oder A.-ulnaris-Puls zu palpieren. Die eintretende Muskelnekrose geht mit massivsten Schmerzen einher (81). Wenn nach Verringerung der Ellenbogenflexion und Spaltung des Gipsverbandes keine Besserung eintritt, ist gegebenenfalls die Spaltung der zentralen Unterarmloge indiziert (8, 11). Erfolgt die Spaltung nicht rechtzeitig, entsteht die Volkmann-Kontraktur mit in Klauenstellung kontraktierter Hand, so kann als Spätfolge eine Beugekontraktur des Unterarms und beugeseitig eine verschmächtigte Unterarmmuskulatur entstehen (81).

1.1.5.1 Nervenläsionen

Periphere Nervenläsionen entstehen im Rahmen von Frakturen primär akut durch Druck, Quetschung, Zerrung oder Zerreißung des Nervs. Sekundär-chronisch kann ein Nervenschaden durch Kallusbildung, Narbenzug oder Beanspruchung in abnormer Lage bei Deformitäten entstehen (83).

Nervenläsionen sind bei Frakturen im Ellenbogenbereich insgesamt häufig. Der Schweregrad und die Häufigkeit des Auftretens von neuronalen Läsionen sind bei der suprakondylären Humerusfraktur jedoch auch abhängig von der Frakturdislokation. Die Gefahr einer Nervenläsion steigt mit dem Grad der Frakturdislokation an (21, 25, 26) und ist besonders wahrscheinlich bei offenen Frakturen (99).

Eine vorübergehende Nervenläsion bei suprakondylären Humerusfrakturen wird in der Literatur unterschiedlich angegeben mit 4,7–19 % der Fälle (5, 11, 25, 27, 68, 108). Eine primär komplette Durchtrennung eines Nervs ist selten (11). Mit dem Alter erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, eine primäre Nervenläsion zu erleiden (31, 99). Bei Holt 2018 (99) waren die Patienten mit Nervenläsionen signifikant älter. Insgesamt sind neuronale Läsionen im Rahmen der suprakondylären Humerusfraktur meist von passagerer Natur (5, 10, 19, 49).

Es werden also primäre Nervenläsionen von sekundären und iatrogenen Nervenläsionen unterschieden.

Die primäre Nervenläsion kann im Fall der suprakondylären Humerusfraktur den N. radialis und N. medianus sowie den N. ulnaris betreffen (25, 31, 49).

Kommt es zu einer Schädigung der Nerven im Rahmen des Traumas, ist mit sensiblen und motorischen Ausfällen distal des Schädigungsortes zu rechnen. Die N.-medianus- und N.-radialis-Läsion tritt vornehmlich als Frühkomplikation auf (58). Eine primär durch das Trauma verursachte N.-ulnaris-Läsion ist seltener und tritt häufiger bei Flexionsfrakturen (100) oder deutlicher Dislocatio ad latum (5) auf.

Je nach Literaturangaben ist die Läsion von N. radialis (58, 111) oder N. medianus (26, 27, 108) die häufigste primäre Nervenläsion bei suprakondylären Humerusfrakturen. Durch die Spannung des Nervs über das proximale Frakturfragment bei Extensionsfrakturen ist der N. radialis im Bereich des Frakturspaltes besonders gefährdet (5, 8, 10).

Der N. ulnaris ist hingegen im Rahmen der operativen Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur besonders gefährdet (5, 114). Bei der offenen Reposition der dislozierten suprakondylären Humerusfraktur wird von daher beim ulnarseitigen Zugang immer ein Anschließen des N. ulnaris durchgeführt (21). Einige

Autoren beschreiben die iatrogene N.-ulnaris-Läsion in bis zu 15 % der gesamten Fälle (8, 22, 23). Die Gesamtinzidenz der iatrogenen N.-ulnaris-Läsionen bei suprakondylären Humerusfrakturen beträgt in einer Studie von Eberl 2011 (23) und Lyons 1998 (115) 6 %, in einer Studie von Naik 2017 (114) 6,7 %. In einer Studie von Weinberg 2002 (25) waren 14 der 19 dokumentierten Fälle der sekundären Nervenläsionen N.-ulnaris-Läsionen.

Joiner 2014 (26) untersuchte die Rate an postoperativen Nervenläsionen hinsichtlich der Fragestellung, ob es sich bei postoperativ diagnostizierten Nervenläsionen um bei der primären klinischen Untersuchung übersehene initiale Nervenläsionen handelte. Bei explizitem Augenmerk auf die sorgfältige klinische Untersuchung konnte jedoch auch hier eine Rate von 3 % von postoperativen Nervenläsionen verzeichnet werden.

Besonders gefährdet, eine intraoperative Verletzung zu erfahren, ist der Nervus ulnaris aufgrund seiner anatomischen Nähe zum ulnaren Zugang der Kirschnerdraht-Implantation. Besonders dann, wenn eine geschlossene Reposition und perkutane Implantation der Drähte erfolgt.

Bei Garg 2014 (68) war die Rate an iatrogenen Läsionen des Nervus ulnaris beim Einbringen von Kirschnerdrähten, ausschließlich von radial, geringer. Bei Slobogean 2010 (48) konnte ein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0.035$) zwischen beidseitiger und rein lateraler Pin-Implantation nachgewiesen werden. Jeder 28. Patient der Metaanalyse ($n = 2.639$), der eine beidseitige Pin-Implantation erhielt, erlitt eine iatrogene N.-ulnaris-Läsion. Bei Woratanarat 2012 (47) konnte ebenfalls durch eine Metaanalyse ($n = 1.615$) das höhere Risiko einer iatrogenen N.-ulnaris-Läsion bei beidseitigem Einführen des Osteosynthesematerials beobachtet werden. Patienten, die eine Implantation der Kirschnerdrähte von lateral und medial erhielten, erlitten 4,3-mal häufiger eine iatrogene Läsion des N. ulnaris.

Im Falle der iatrogenen Schädigung des Nervus ulnaris durch den von ulnar her eingebrachten Kirschnerdraht verschwindet die Lähmung laut Parsch 2011 (5) und Wessel 2010 (22) meist, aber nicht immer, nach der Metallentfernung.

Signifikant weniger iatrogene Nervus-ulnaris-Läsionen finden sich in einer Studie von Eberl 2011 bei der ESIN-Osteosynthese (0,4 % – 1 von 264 Patienten) (23).

Bei primär-traumatischen Nervenläsionen kann bei erfolgreicher Reposition meist mit einer Erholung nach ca. zwei bis vier Monaten gerechnet werden (19, 49), operative Maßnahmen zur Behebung der Ausfälle sollten vor Ablauf dieser Frist nicht durchgeführt werden (58). Es ist jedoch zu bedenken, dass es auch durch eine Reposition sekundär zu einer stumpfen Nervenverletzung durch Überdehnung kommen kann. Hierbei ist allerdings ebenfalls mit einer hohen Spontanregeneration (ca. 90 %) des Nervs zu rechnen (21).

Tritt im Behandlungsverlauf eine Nervenschädigung auf, sollte immer eine Elektromyografie und eine Messung der Nervenleitgeschwindigkeit erfolgen (5). Primär bei klinischer Erscheinung und nach drei sowie sechs Monaten zum Nachweis der Reinnervation (5, 21, 82). Klinische Nachkontrollen sollten laut Frank 2010 (21) alle zwei Wochen erfolgen. Nach drei bis fünf Monaten ist üblicherweise eine spontane Erholung zu erwarten (5, 23, 31, 82, 108). Nach einem Jahr bilden sich in der Regel alle Nervenirritationen wieder zurück (8). Zu beachten ist, dass die Funktionswiederaufnahme der Hand bei Kindern oft erst längere Zeit nach den Zeichen der neurophysiologischen Reinnervation erfolgt (21).

Eine neuronale Dysfunktion erfordert niemals eine sofortige chirurgische Exploration (11). Dem klinischen Befund sollte bei Indikationsstellung zur Revision immer Vorrang gegeben werden vor der elektrophysiologischen Untersuchung (82). Erst nach einem kompletten Ausfall der Nervenfunktion von mehr als vier bis sechs Monaten nach dem Trauma ist eine erneute Operation im Sinne einer operativen Dekompression indiziert. Im Falle einer kompletten Durchtrennung des Nervs ist eine umgehende Revision und Nervennaht, ggf. mit Interponat, nötig (11, 21, 28). Frakturbedingte stumpfe Nervenläsionen heilen bei Kindern jedoch zu 85 % innerhalb von einigen Monaten aus (82). Im Mittel beträgt die Dauer zur Reoperation 1,7 Jahre. Insgesamt ist das Risiko für eine solche Revision höher beim älteren Patienten und bei Zustand nach offenen Repositionen (28).

1.1.5.2 Gefäßläsionen

Gefäßkomplikationen treten selten, je nach Literatur bei etwa 0,7–7,7 % (5, 11, 24, 31, 68, 108) der Fälle und nur bei dritt- oder viertgradigen suprakondylären Humerusfrakturen auf, da durch die Dislokation der scharfen Fragmente eine Gefäßverletzung begünstigt wird. Die scharfen Fragmentkanten provozieren ebenso Gefäßspasmen (5). Diese können laut Tunku-Naziha 2017 (109) initial durch die lokale Applikation von Verapamil oder Lidocain behandelt werden. Das distale Ende des proximalen Frakturfragmentes gefährdet bei der häufigeren Extensionsfraktur besonders die hier ventral verlaufende A. brachialis (11). Auch Hämatome können Gefäßspasmen verursachen (36).

Symptome der arteriellen Gefäßläsion sind die kalte, blasse und pulslose Hand. Außerdem weisen Patienten mit Gefäßläsionen oft eine diffuse Ecchymosis, Ödeme oder ein Grübchen-Zeichen des proximalen Fragments auf (122). Im Zuge einer klinischen Studie von Garg 2014 (68) ist bei nur ca. 10 % der Patienten mit inpalpablem Puls auch eine gefäßchirurgische Intervention nötig gewesen. Fünf von 54 Patienten mit Pulsdefizit mussten gefäßchirurgisch versorgt werden (68).

Bei primär nicht tastbarem Radialis puls ist laut Laer vor einer angiografischen Abklärung zunächst die offene Reposition von ulnar indiziert, da meist das Gefäßnervenbündel interponiert ist (10). Laut Parsch 2011 und anderen Autoren (5, 31, 36, 108, 109) ist in > 90 % der Fälle nach Reposition ein Puls fühlbar oder dopplersonografisch nachweisbar. Metaizeau 1996 (11) sieht durch eine pulslose, kalte Hand nicht die direkte Exploration des Gefäßes gerechtfertigt, jedoch die schnelle und perfekte Reposition indiziert. Bei Matuszewski 2010 kehrte im Mittel der palpable Puls der A. radialis 25 Minuten nach der Reposition zurück (36). Bei Tunku-Naziha 2017 lag die mittlere Rückkehrzeit des Pulses nach Repetition sogar bei 24 Stunden (Range: 3–96 Stunden) (109). Kehrt nach adäquater Reposition kein palpabler Puls zurück, handelt es sich sehr wahrscheinlich um einen Defekt oder eine Thrombosierung der A. brachialis (31, 36, 122). Es muss dann in gleicher Sitzung eine Revision der A. brachialis in der Ellenbeuge erfolgen, und entsprechende Schritte, auch gefäßchirurgisch, wie zum Beispiel der Einsatz eines Venenpatches oder -interponates, müssen vorgenommen werden (11, 36). Eventuell muss ein Fogarty-Katheter zum Einsatz kommen, um den Thrombus zu entfernen (36).

Die pulslose und blasse Extremität gilt als Indikator für eine notfallmäßige Operation (5), vor allem, da eine Gefäßeinklemmung im Verlauf die Ausbildung eines Kompartmentsyndroms begünstigen kann (58, 122). Neuere Studien lassen jedoch vermuten, dass ein Aufschieben der Operation auf den nächsten Tag die Wahrscheinlichkeit einer perioperativen Komplikation auch bei initialen Symptomen einer arteriellen Gefäßläsion nicht erhöht. Bei Tuomilehto 2018 (67) wurde das Therapieregime in der hiesigen Klinik so verändert, dass eine arterielle Gefäßsymptomatik bei der suprakondylären Humerusfraktur nicht mehr als Indikation zur Notfalloperation galt. Es trat bei den daraufhin am Folgetag versorgten Frakturen mit initialer Gefäßsymptomatik (n = 100) keine Änderung in Bezug auf die Dauer des stationären Aufenthalts, die Rate von perioperativen Infektionen und iatrogenen Nervenläsionen sowie in Bezug auf die Rate von Revisionen und Korrektur-osteotomien auf. Ein Kompartmentsyndrom wurde nicht beobachtet. Die Operationsdauer konnte hingegen vermindert werden.

Von Vorteil insgesamt ist bei einer gefäßtechnisch heiklen Situation die intramedulläre Nagelung, da sie postoperativ keine Ruhigstellung in Flexion benötigt (11) und somit eine ausreichende Mobilisation des Arms sowie eine klinische Beurteilbarkeit gewährleistet.

1.1.5.3 Funktionelle Spätfolgen und Fehlstellungen

„Fehlheilungen der suprakondylären Humerusfraktur sind insgesamt häufig, aber grundsätzlich gut tolerabel“, laut Metaizeau 1997 (11).

Achsenfehlstellungen, die in der Bewegungsebene des Gelenkes liegen, werden von denen unterschieden, die nicht in der Hauptbewegungsebene des Humeroulnar/-radialgelenkes liegen. Sie werden besser korrigiert als die, die in der Frontalebene liegen (16). Ursache dafür ist die Funktionalität des Ellenbogengelenkes. Das Ellenbogengelenk ist ein Scharniergelenk, seine physiologische Bewegungsachse liegt in der Sagittalebene. Fehlstellungen in der Frontalebene wie ein Cubitus varus oder valgus können im Verlauf des weiteren Wachstums nicht mehr spontan korrigiert werden (3, 8, 10, 11, 29).

Eine häufig auftretende primäre Fehlstellung ist die Rotationsfehlstellung, die röntgenologisch durch den ventralen Rotationssporn sichtbar wird. Weinberg beschreibt in ihrer Studie von 2002 (25), dass bei 8 % der untersuchten suprakondylären Humerusfrakturen ein Rotationssporn in seitlicher Röntgenaufnahme zu erkennen war. Dieser verursacht, als ventraler Rotationssporn, eine Flexionseinschränkung. Die Flexionseinschränkung verschwindet im weiteren Wachstum, da die Kontur des Sporns durch das Wachstum nach proximal wandert und so zuverlässig abgebaut wird (8, 10, 11). Der begleitende Rotationsfehler ist allerdings auch die direkte oder indirekte Ursache des Cubitus varus, seltener auch des Cubitus valgus (10). Der Rotationsfehler ist somit der Wegbereiter der Instabilität, der das Abkippen in den Varus oder Valgus erst zulässt. Die Fehlstellung führt durch den konsekutiven Kollaps des ulnaren Pfeilers und das Vordrehen des radialen Kondylenanteils zum Cubitus varus, meist verbunden mit Überstreckbarkeit. Der Cubitus valgus entsteht durch eine Absenkung des lateralen Pfeilers des Humerus (5, 8, 11). Selten sind primäre Abkipnungen nach ulnar oder radial bei Seit-zu-Seit-Verschiebungen die Ursache des Cubitus varus oder valgus (10). Die Häufigkeit der Varus- und Valgusfehlstellungen wird je nach Literatur von 4,1–11,7 % für Varus- und 7,2 % für Valgus-Fehlstellungen angegeben (25, 39).

Ein bestehender Cubitus varus kann nur durch einen weiteren operativen Eingriff behoben werden. Auch wenn diese Eingriffe meist sehr erfolgreich und komplikationsarm sind, ist eine Immobilisationszeit von mindestens vier Wochen notwendig (62). Die Spätfolge des Cubitus varus ist die häufigste persistierende Komplikation bei suprakondylären Humerusfrakturen vom Typ III und IV nach Laer (22). Auch wenn eine funktionelle Einschränkung durch den Cubitus varus in der Regel nicht zu erwarten ist (11), ist der ästhetische Faktor nicht zu unterschätzen. Neben dem kosmetischen Aspekt kommt es außerdem zu sozialer Behinderung des Patienten (8).

Durch eine retrospektive Studie von Tuomilehto 2018 (54) konnte das Langzeit-Outcome von Patienten, die eine suprakondyläre Humerusfraktur erlitten und eine Versorgung durch eine Kirschnerdraht-Osteosynthese erhielten, beurteilt werden. Eine Nachuntersuchung sieben bis zehn Jahre postinterventionell zeigte bei 13,8 % ($n = 168$) ein nicht zufriedenstellendes Ergebnis in Bezug auf die Asymmetrie des Tragewinkels im Ellenbogengelenk. Als nicht zufriedenstellende Ergebnisse wurden alle Asymmetrien ab 11° gegenüber dem nicht frakturierten Gelenk gewertet. Einen Cubitus varus erlitten 13,85 % der Patienten. Es bestand eine negative Korrelation in Bezug auf das kosmetische Ergebnis ($p = 0.005$) und die subjektive Einschätzung der Funktionalität des betroffenen Ellenbogens ($p = 0.004$).

Die mittlere subjektive Zufriedenheit der Patienten in Bezug auf den kosmetischen Aspekt betrug in hiesiger Studie 8,7 (range: 2–10, Skala 0–10). Beeinflusst wurde der kosmetische Aspekt jedoch signifikant nur durch die Repositionsart ($p = 0,03$). Patienten, deren Frakturen durch eine offene Reposition gerichtet worden waren, gaben im Durchschnitt eine Zufriedenheit von 7.8 in Bezug auf die kosmetische Situation an.

Seit-zu-Seit-Verschiebungen zeigen sich insgesamt mit einer Häufigkeit von 4 %, kombinierte Fehlstellungen werden mit Häufigkeiten von < 5 % angegeben (25). Wachstumsstörungen sind selten. Sie können stimulativer Natur sein oder durch den vorzeitigen Verschluss der Wachstumsfuge entstehen. Eine Verletzung der Wachstumsfuge kann beispielsweise im Rahmen mehrfacher Bohrversuche durch die distale Wachstumsfuge der Kondylen bei Kirschnerdraht-Osteosynthese-Spickung entstehen (10), jedoch auch durch die einwirkende Kraft während des Traumas ausgelöst werden. Der Cubitus hyperextensus entsteht durch fehlende Korrektur der Extensionsfehlstellung (5). Da die Beugung durch diese Fehlstellung allerdings nicht eingeschränkt wird, ist keine operative Korrektur notwendig (11).

Antekurvationsfehlstellungen sind mit Anteilen von bis zu 17 %, Rekurvationsfehlstellungen von bis zu 7 % nicht selten (25). Diese Fehlstellungen können nur etwa bis zum sechsten Lebensjahr spontan ausgeglichen werden, und das auch nur bei einer Ante- oder Rekurvation von $< 20^\circ$ (3, 12, 22, 29).

Die Spontankorrektur der Antekurvationsfehlstellung kann in klinischen Nachkontrollen anhand der Zunahme der Flexionsfähigkeit kontrolliert werden (8).

Die funktionelle, für den Patienten im Alltag merkbare Einschränkung betrifft vor allem die Flexion und Extension. Weinberg beschreibt in ihrer Studie von 2002 (25), dass 17,4 % der Patienten Seitenunterschiede in Form von eingeschränkter Beugung und/oder Streckung sowie Hyperextension erleiden.

Zur endgültigen Beurteilung der Funktionalität des Ellenbogens kann der sonst bei Luxationen übliche Linscheid-Wheeler-Score, dargestellt in Tabelle 8, hinzugezogen werden. Laut Eberl 2011 (23) waren nach

ca. drei Jahren die Ergebnisse bei der konservativen und operativen Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur gut bei 9 % der Patienten mit antegrader ESIN-Nagelung und exzellent bei 91 %. Bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese waren ähnliche Ergebnisse in der Langzeitbeobachtung zu vermerken (gut 8 %, exzellent 92 %).

Linscheid-Wheeler Score	Beweglichkeit	Schmerzen	Instabilität
excellent	volle Beweglichkeit	keine	keine
good	<15° in Flexions- oder Extensionseinschränkungen	keine	keine
fair	<30° in Flexions- oder Extensionseinschränkungen	gering	gering
poor	>30° in Flexions- oder Extensionseinschränkungen	wiederkehrend	Instabilität oder neurovaskuläre Problematik

Tabelle 8: Linscheid-Wheeler-Score [Eberl R: Iatrogenic ulnar nerve injury after pin fixation and after antegrade nailing of supracondylar humeral fractures in children, Acta Orthopaedica 2011; 82 (5), pp. 606–609].

Ein weiteres Instrument zur Beurteilung von Langzeitergebnissen nach operativer Versorgung einer ellenbogennahen Fraktur stellen die Kriterien nach Flynn dar (siehe Tabelle 9).

Flynn-Kriterien	Änderung des Tragewinkels	Bewegungseinschränkung
excellent	0° – 5°	0° - 5°
good	6° - 10°	6° - 10°
fair	11° - 15°	11° – 15°
poor	> 15°	> 15°

Tabelle 9: Flynn-Kriterien [Longo UG, Francheschi F, Loppini M, Maffulli N, Denaro V: Rating systems for evaluation of the elbow, In: British Medical Bulletin 2008; 87 (1), pp. 131–161].

Nach Tuomilehto 2018 (54) ergab sich nach Anwendung der Flynn-Kriterien ein Anteil von 92,3 % ($n = 168$) mit exzellenten oder guten Endergebnissen. Es wurde in selbiger Studie auch, neben den Flynn-Kriterien, zur Abschätzung der Wiedererlangung der Beweglichkeit die subjektive Zufriedenheit der postoperativen Bewegungsauslenkung durch einen Patienten-Fragebogen gemessen. Hier gaben die Patienten eine Zufriedenheit von 9.0 (range: 2–10, Skala 0-10) an. Der Frakturtyp und das Geschlecht beeinflussten nicht die Zufriedenheit mit der postoperativen Bewegungsauslenkung. Ältere Patienten (Alter > 10 Jahre), Patienten, die im Krankheitsverlauf eine nervale Läsion erlitten hatten, gaben eine im Durchschnitt geringere Zufriedenheit an. Die Nachbeobachtungszeit betrug sieben bis zehn Jahre.

Die Fehlstellungen und funktionellen Einschränkungen sind in Tabelle 10 zusammenfassend dargestellt.

Fehlstellung	Ebene, in der die Fehlstellung entsteht	Ursache	funktionelle Einschränkung
Cubitus varus	Frontalebene	übersehene Rotationsfehler, Absinken des ulnaren Pfeilers, primäres Abkippen nach Seit-zu-Seit-Verschiebung	selten
Cubitus valgus	Frontalebene	Absenkung des lateralen Pfeilers des Humerus, primäres Abkippen nach Seit-zu-Seit-Verschiebung	selten
Rotationsfehler	Sagittalebene und Frontalebene	ventraler oder seitlicher Rotationssporn	eingeschränkte Flexion
Seit-zu-Seit-Verschiebungen	Frontalebene	nicht korrekt durchgeführte Reposition	nur bei Abkippen der Fragmente
Antekurvations-fehlstellung	Sagittalebene	nicht korrekt durchgeführte Reposition	eingeschränkte Extension und Hyperflexion
Rekurvations-fehlstellung	Sagittalebene	nicht korrekt durchgeführte Reposition	eingeschränkte Flexion und Hyperextension

Tabelle 10: Dargestellt werden Wachstumsstörungen und Fehlstellungen im Rahmen der suprakondylären Humerusfraktur in Bezug auf ihre Ebene und Ursache sowie die aus der Fehlstellung resultierenden funktionellen Einschränkungen.

1.2 Behandlungskonzepte der suprakondylären Humerusfraktur

1.2.1 Konservatives Management

Konservativ behandelt werden können alle als stabil geltenden Frakturen, somit alle Typ-I-Frakturen, die nach der AO-Klassifikation als grundsätzlich stabil gelten, und Typ-II-Frakturen, gemäß AO, mit einer Dislokation von weniger als 30°. Die Immobilisation erfolgt im Oberarmgips oder -Cuff-and-Collar-Verband für ca. drei bis vier Wochen (14).

Im Falle einer Antekurvationsfehlstellung $< 20^\circ$ kann ein Cuff-and-Collar-Verband durch die Spitzwinkelstellung des Gelenkes die Reposition der Fraktur erreichen (3). Mit zunehmender Gelenkschwellung nimmt die Wahrscheinlichkeit, eine geschlossene Reposition erfolgreich durchzuführen, jedoch ab (5).

Je nach Autor ist eine Röntgenkontrolle nach etwa einer Woche zum Ausschluss der Sekundärdisklokation nötig (3, 5, 8, 11, 22, 65).

Spätfolgen sind bei adäquat konservativ behandelten Frakturen nicht zu erwarten (5, 22). Physiotherapie ist nicht nötig, da eigentätige Bewegungsübungen vollständig ausreichen. Die Sportfähigkeit ist circa drei Wochen nach Konsolidierung gegeben (22, 55).

1.2.2 Operative Therapie: Reposition

„Eine ideale Reposition bedeutet unabhängig vom Alter immer ein Minimum von Spätfolgen“ (86).

In den meisten Fällen ist eine geschlossene Reposition durchführbar. Eine offene Reposition ist nötig bei Repositionshindernissen, beim Vorliegen von Gefäßverletzungen oder nach mehreren erfolglosen geschlossenen Repositionsversuchen (3, 122, 102). Bei der seltenen Flexionsfraktur ist fast immer eine offene Reposition nötig (5, 102). Liegt bei einer Flexionsfraktur zusätzlich eine N.-ulnaris-Läsion vor, steigt das Risiko der Notwendigkeit einer offenen Reposition noch einmal um das 7-Fache (102). Krankenhausaufenthalt und Operationsdauer sind bei der Durchführung der offenen Reposition meist verlängert (122).

Die Reposition erfolgt in Narkose (10, 22, 23) und ist durch Bildwandlerkontrolle zu überprüfen (8, 65). Das Kriterium für eine erfolgreiche Reposition ist die physiologische Rogers-Linie (10). Nach Laer 2011 (10) und

Wessel 2010 (22) ist nach einer im ersten Anlauf fehlgeschlagenen Reposition höchstens noch ein zweites Mal ein geschlossener Repositionsversuch angebracht. Die geschlossene Reposition ist bei ca. 90 % der Kinder erfolgreich durchführbar (5, 65).

Kronner et al. stellten 2013 (30) die Frage, ob eine verzögerte Einleitung der Operation eine offene Reposition wahrscheinlicher mache. Die verzögerte Behandlung wurde als Wartezeit von > 12 Stunden nach Erscheinen in der chirurgischen Ambulanz definiert. Dies ist laut dieser Studie aber nicht der Fall.

Im Vergleich zur geschlossenen Reposition hat die offene Reposition keine zusätzlichen Risiken, sie birgt sogar ein geringeres Risiko der iatrogenen neurovaskulären Läsionen, da die Leitungsbahnen bei dieser Behandlungsmethode direkt visualisiert werden können (122).

1.2.3 Operatives Management

Operativ stabilisiert werden alle instabilen Typ-II-Frakturen, alle sekundär dislozierten Frakturen, alle Typ-III- und Typ-IV-Frakturen sowie alle offenen Frakturen oder Frakturen mit neurovaskulären Begleitverletzungen (22, 55, 65).

Es sollte zunächst immer eine geschlossene Reposition angestrebt werden (2), die aber nicht bei allen Frakturen möglich ist. Ist die geschlossene Reposition nicht durchführbar, muss die Fraktur offen reponiert werden (3).

Es stehen ESIN, Kirschnerdraht-Osteosynthese und Fixateur externe als Osteosyntheseverfahren zur Verfügung (22). Der Eingriff erfolgt in den meisten Fällen in Allgemeinanästhesie (55).

1.2.4 Nachbehandlung

1.2.4.1 Kirschnerdraht-Osteosynthese

Die durchschnittliche Konsolidierungszeit steigt mit dem Alter an. Sie beträgt bei sehr jungen Patienten (bis zum circa fünften Lebensjahr) ein bis zwei Wochen, bei fünf- bis zehnjährigen Patienten zwei bis drei Wochen und bei über zehnjährigen Patienten drei bis vier Wochen (8).

Die konservative Therapie kann in der Regel ambulant erfolgen, während die operative Therapie oft eine stationäre Aufnahme für zwei bis drei Tage zur Folge hat (55).

Kirschnerdrähte können über Hautniveau stehen gelassen oder unter der Haut versenkt werden. Die postoperative Behandlung beinhaltet regelmäßige Wundkontrollen, engmaschige postoperative Kontrollen der Durchblutung, Motorik und Sensibilität sowie das Tragen eines Gipses bis zur knöchernen Heilung (55). Bei mehrfachen Repositionsversuchen und ausgeprägter Schwellung sollte im Verlauf auf ein Kompartmentsyndrom geachtet und dieses gegebenenfalls wiederholt ausgeschlossen werden (3). Nach Abschwellen des Ellenbogengelenkes ist die Oberarmgipsschiene durch einen zirkulären Gips zu ersetzen. Drei bis vier Wochen nach der Operation sollte ein gipsfreies Röntgen zur Kontrolle erfolgen (8, 22, 55). Die Ruhigstellungszeit im Gips beträgt je nach Literatur drei bis sechs Wochen (3, 5, 10, 22, 23). Die Mobilisation erfolgt bei vollständiger Konsolidierung der Fraktur, bei herausstehenden Drähten erst nach der Metallentfernung (11).

Die Metallentfernung sollte frühestens nach drei, spätestens nach fünf Wochen ambulant oder in einer Poliklinik erfolgen (19, 22). Laut Parsch 2011 (5) sollten nach außen überstehende Drähte ambulant und bereits nach drei bis vier Wochen, versenkte Drähte nach Abschluss der Mobilisierung in Narkose nach vier bis sechs Wochen entfernt werden.

Bei guter periostaler Abstützung und palpatorisch indolentem Kallus kann, nach einer Röntgenkontrolle, die Metallentfernung bei herausstehenden Drähten ohne Analgesie und Sedierung erfolgen (8, 10, 22). Alle versenkten Drähte müssen generell in Narkose entfernt und die Stichinzisionen gegebenenfalls mit resorbierbaren Fäden verschlossen werden (5). Der stationäre Aufenthalt bei Metallentfernung dauert im Durchschnitt zwei Tage (45), in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals erfolgt der Eingriff ambulant.

Bei infizierten Wundverhältnissen oder Perforation der Kirschnerdrähte kann auch eine noch frühere Metallentfernung angezeigt sein. Dies kann in bis zu 6 % der Fälle vorkommen (31). Nach der Entfernung der Drähte kann der Patient ohne weitere Einschränkungen am Alltag teilnehmen. Die spontane Bewegung ist ohne jegliche Verbote möglich. Die Sportkarenz ist nach Erlangen der vollständigen Bewegungsfreiheit zu beenden. Spontane Bewegungen bis an die Schmerzgrenze sind hier das Ideal, um die Beweglichkeit innerhalb der nächsten drei bis sechs Wochen zu normalisieren. Die Freigabe erfolgt, nachdem der Patient den Sport ohne Beschwerden wiederaufgenommen hat, die Funktion annähernd seitengleich frei ist und die Ellbogenachse ebenfalls seitengleich ist (10).

Bei Zionts 2009 (44) wurde die Ellenbogenbewegung nach dislozierten suprakondylären Extensionsfrakturen vom Typ II und III ohne Begleitverletzungen und Versorgung mit Kirschnerdraht-Osteosynthese über einen Zeitraum von einem Jahr nachuntersucht. Nach sechs Wochen war die volle Beweglichkeit im Vergleich zum kontralateralen Ellenbogen zu 72 % wiederhergestellt, nach zwölf Wochen zu 86 % und nach 52 Wochen zu 98 %. Die Differenz des Bewegungsumfanges betrug nach sechs Wochen 45°, nach zwölf Wochen 22° und nach 52 Wochen 4°. Die Typ-II- und Typ-III-Frakturen unterschieden sich nur bezüglich der Beweglichkeit in den ersten sechs Wochen, danach glichen sich die Ergebnisse an.

Bei Tuomilehto 2018 (54) wurde die Beweglichkeit sieben bis zehn Jahre postinterventionell beurteilt. Hier zeigte sich, nach Anwendung der Flynn-Kriterien (siehe Tabelle 9), ein gutes bis exzellentes Ergebnis bei 92,3 % aller Patienten. Subjektiv wurde die Beweglichkeit durch die Patienten bei 28 % als eingeschränkt beschrieben, wobei bei 21 % der Fälle die Extension, bei 11 % der Fälle die Flexion betroffen war.

1.2.4.2 ESIN

Die Metallentfernung erfolgt in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals ebenso wie bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese ambulant.

Eine mit der elastisch-stabilen Nagelung behandelte suprakondyläre Humerusfraktur wird ohne zusätzliche Ruhigstellung nachbehandelt (7, 15, 32). Nach radiologisch vollständiger Überbauung der Fraktur kann die Metallentfernung je nach Literatur nach circa zwei bis acht Monaten stattfinden (7, 15, 19, 22, 49, 55). Die Metallentfernung erfolgt in Narkose (32). Zur Metallentfernung ist eine erneute Inzision zum Fassen des Nagelendes nötig (15, 19).

Klinische Nachkontrollen können immer dann abgeschlossen werden, wenn der Patient die Sportfähigkeit wiedererlangt hat, die Funktion im Ellenbogengelenk annähernd seitengleich frei und voll ist und sich die Ellenbogenachsen klinisch seitengleich präsentieren. Die Empfehlungen zur Nachbehandlung sind in Tabelle 11 beschrieben (8).

Zeitraum	Maßnahme
2–3 Tage	Immobilisation mit Kompressionsverband
8–10 Tage	Tragen des Armes im Schultertuch
nach 1 Monat	Belastung beginnen, Sportkarenz beenden
nach 3 Monaten	Entfernung der Implantate

Tabelle 11: Dargestellt sind die Empfehlungen zur Nachbehandlung einer mit ESIN versorgten suprakondylären Humerusfraktur (8, 11, 15).

Physiotherapie ist sowohl bei der Versorgung mit ESIN (15) als auch bei der Versorgung mit einer Kirschnerdraht-Osteosynthese nicht indiziert (3, 8, 10, 22). Bei einer Untersuchung von Keppler 2005 (56) wurde in einer prospektiven, randomisierten Studie die Effektivität der Physiotherapie untersucht. Bei zwei Gruppen von jeweils 21 und 22 Kindern wurde im postoperativen Follow-up nach zwölf Monaten kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten, die eine Physiotherapie erhielten, und denen, die keine Physiotherapie erhielten, gefunden. Die Patienten hatten alle eine suprakondyläre Humerusfraktur nach Felsenreich 2 und 3, die den Frakturtypen IIb, III und IV nach Laer entsprechen, erlitten (Klassifikation nach Felsenreich: 1: keine oder nur ganz geringe Achsenknickung bei unvollkommen frakturiertem Knochen; 2: deutliche Achsenknickungen, gleichgültig, in welche Richtung bei erhaltenem Fragmentkontakt; 3: komplette Verschiebung der Fragmente ohne Fragmentkontakt). Diese wurden offen reponiert und mit einer

gekreuzten Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgt. Kein Patient dieser Studie hatte neurovaskuläre Defizite erlitten.

Sinnvoll ist, während der Nachbehandlung eine spontane Bewegung bis an die Schmerzgrenze zu erlauben, um eine alters- und befundabhängige physiologische Wiedererlangung der Bewegung zu ermöglichen. Eine Physiotherapie kommt laut Laer 1996 (8) erst nach einem völlig stationär bleibenden Funktionsausfall von über zwölf Wochen infrage. Die AWMF-Leitlinien empfehlen ebenso eine Physiotherapie nur bei anhaltend eingeschränkter Funktion und vor allem bei älteren Kindern (55).

1.3 Die Osteosynthesemethoden ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese

1.3.1 ESIN

Die intramedulläre Nagelung ist für die Behandlung der Fraktur im Kindesalter aus folgenden Gründen vorteilhaft. Die Implantate können frakturfern eingebracht werden, wodurch eine erneute Traumatisierung verhindert wird und die peri- und endostale Heilung ungestört ablaufen kann. Durch die frühe Möglichkeit der Spontanmobilität und Belastung wird die Frakturheilung ebenfalls positiv beeinflusst. Die Entfernung der Implantate erfolgt in einem ambulanten Eingriff, die kosmetischen Resultate sind überaus zufriedenstellend (58).

1.3.1.1 Geschichte und Entwicklung

Im 16. Jahrhundert beschrieb Bernardino de Sahagun aztekische Ärzte, die mittels Holz oder Ästen bei Frakturen der langen Röhrenknochen intramedulläre Nagelungen vornahmen (60). Auch Guerra 1966 (66) beschrieb den Einsatz von harzhaltigen Stöcken bei aztekischen Ärzten, die nach Reposition in den Markraum der Röhrenknochen eingebracht worden sind. Auch eine Immobilisation von 20 Tagen in einer aus Stoffen hergestellten Schiene war damals üblich. 1848 präsentierte Dieffenbach Implantate aus Elfenbeinstiften zur intramedullären Nagelung, 1858 implantierte Langenbeck Silberbolzen in eine Femurfraktur. Der Patient überlebte die Prozedur allerdings nicht, er verstarb an einer Infektion. Nachdem 1860 durch Lister die aseptische Arbeitsweise eingeführt wurde, konnten nun auch intramedulläre Operationen ohne das Risiko einer Osteomyelitis durchgeführt werden (58). Im Jahr 1875 soll Heine die ersten experimentellen Osteosynthesen mit intramedullären Elfenbeinbolzen in Chile durchgeführt haben. Nach dem Einsatz der intramedullären Nagelung zur Behandlung von Pseudarthrosen berichtete Bircher 1886 auf dem deutschen Chirurgenkongress über die Verwendung von intramedullären Elfenbeinbolzen bei frischen Frakturen (94). Die Einführung der Röntgendiagnostik 1895 verbesserte die Behandlung von Knochenbrüchen wesentlich (58, 59). 1904 wurde durch Niehans erstmals ein Oberschenkelbruch beim Kind mit Metallnägeln geschient, er beschrieb bereits damals die suprakondyläre Humerusfraktur im Kindesalter als eine der Hauptindikationen für die sogenannte „Knochennagelung“, 1913 führte Schöne duktile, also hämmerbare, Silberstifte zur Versorgung von Unterarmfrakturen ein (58, 59, 94). Hey-Groves beschrieb in seiner 1912 im „British Medical Journal“ erschienenen Arbeit (93), dass Knochen und Elfenbein als intramedulläre Scheidung ungeeignet seien, da sie mechanisch insuffizient seien, lediglich Stahl sei zur Markraum-nagelung geeignet. Er entwickelte verschiedene Stahlimplantate in unterschiedlichen Größen und beschrieb schon damals die Vorteile der Marknagelung gegenüber Osteosynthesepplatten und Knochennähten, die noch heute gelten:

- rasch und leicht durchführbare Operation
- geringe Beschädigung der Weichteile durch kleinen Zugang
- geringe Schädigung des Periosts
- exakte Reposition möglich
- verbleibender, geringer Bewegungspielraum fördert die Kallusbildung
- eine äußere Fixation ist nicht erforderlich, es kann nach der Wundheilung mit der Mobilisation begonnen werden.

Nachdem Küntscher 1939 den Oberschenkel eines 35 Jahre alten Mannes nach Femurschaftbruch erfolgreich mit einer intramedullären Nagelung behandelt hatte, stellte er 1940 auf der 64. Tagung der deutschen Gesellschaft für Chirurgie die Marknagelung vor, die auf einem elastischen Verklemmungsprinzip basierte (58, 59, 92).

Parallel dazu entstand Ende der 1930er Jahre in Nordamerika die sogenannte „Rush-Pinnung“ mit halboffener Reposition. Auch die Rush-Brüder thematisierten bereits die Dreipunktstellung der intramedullären Nägel. So waren gemäß den Rush-Brüdern für gebogene Knochen gerade Nägel und für gerade Knochen gebogene Nägel vonnöten. Ein Einsatz bei Frakturen bei Kindern wurde jedoch sowohl von ihnen als auch von Küntscher (58, 59) nicht oder nur zurückhaltend empfohlen. Im Jahr 1947 veröffentlichte Küntscher eine Studie von 105 Fällen, in denen der Einsatz von V-geformten Nägeln gute Ergebnisse brachte. Im gleichen Jahr kam es auch zum Einsatz der Hansen-Street-Nägel. Diese waren diamantengeformt und ermöglichten den Einsatz im Rahmen einer geschlossenen Operation (59, 93).

Durch Hackethal kam 1959 die Idee der intramedullären Nagelung mit mehreren Nägeln auf. Durch mehrere dünne, elastische Stahlnägel sollte eine Querverklemmung durch Spreizung und zusätzliche Stabilität durch die fächerförmig in der Spongiosa verteilten Nagelspitzen erreicht werden (58).

Im Jahr 1984 veröffentlichte Metaizeau in Zusammenarbeit mit Ligier (107) einen Bericht über die Behandlung von Frakturen im Kindesalter durch die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung. Es folgten weitere Veröffentlichungen im deutschsprachigen und angloamerikanischen Raum (58). In einer vierjährigen Studie von 1988 bis 1992 beschrieben Brumbach et al. eine Erfolgsrate von 98 % beim Einsetzen von verriegelten intramedullären Nägeln (59). Den größten Beitrag zur Verbreitung des Einsatzes von ESIN-Nägeln bei Kindern leistete die Forschungsgruppe des Kinderkrankenhauses Nancy um Prevot Anfang der 1990er Jahre (104, 105, 106).

Heute ist die intramedulläre Nagelung eine Standardprozedur in der Traumatologie.

1.3.1.2 Biomechanik

Die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung stellt eine Stabilisierung von Frakturen nach einem intramedullären Verklemmungsprinzip dar. Im Falle von proximalen und distalen Frakturen kommt jedoch das Prinzip der Abstützfunktion zum Tragen. Die symmetrisch aufgespannten, elastischen Nägel weisen jeweils drei Aufstützpunkte innerhalb des Knochens auf. Es entsteht also eine Dreipunktstützung von je zwei gegenüberliegenden Nägeln, die zu einer übungsstabilen Osteosynthese führt. Das Vorbiegen der Nägel vor dem eigentlichen Einbringen in den Knochen ist essenziell, um die elastischen Rückstellkräfte zu aktivieren (15, 19, 58).

Eine zusätzliche Immobilisation nach operativer Versorgung ist nicht nötig. Die vom Periost ausgehende Heilung wird durch die minimalen Kompressions- und Dekompressionsbewegungen bei der übungsstabil versorgten Fraktur eher beschleunigt als bei operativen Verfahren, nach denen eine Gipsanlage nötig ist (15, 19, 58). Der periostale Kallus ist die mechanisch wichtigste Form der Frakturüberbrückung. Er übertrifft den endostalen und kortikalen Kallus an Stabilität und Bewegungstoleranz. Neben der Unterstützung der periostalen Frakturheilung ist die intramedulläre Nagelung in ihrer Rigidität dem Knochen ähnlicher als ein Marknagel oder eine Osteosyntheseplatte. Einwirkende Kräfte können durch passagere Verbiegung der Markraumnagelung aufgefangen und der Knochen in die Ursprungsposition zurückgeführt werden. Die Dreipunktstützung ermöglicht außerdem durch die Gegenläufigkeit der Implantate eine übungsstabile und früh belastungsfähige Fraktur. Die für die Frakturheilung ungünstige Rotation wird durch dieses Verklemmungsprinzip verhindert (58). Gerade bei der suprakondylären Humerusfraktur ist die Korrektur des Rotationsfehlers und die Fixation der Frakturfragmente in korrekter Achse zueinander besonders wichtig, um die Ausbildung eines Cubitus varus zu verhindern (10).

1.3.1.3 Operationstechnik, Implantate und Instrumente

Die ESIN gilt als übungsstabile Versorgung, ist aber im Vergleich zur Kirschnerdraht-Osteosynthese die technisch anspruchsvollere Methode (65).

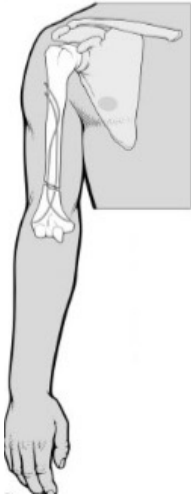


Abbildung 4: Intramedulläre Nagelung am Humerus – Antegrade Nagelung bei einer distalen Oberarmfraktur [Prevot J, Lascombes P, Ligier JN: „L’embrochage centromedullaire lastique stable methode d’osteosynthese des fractures des membres chez l’enfant“, In: Chirurgie 119, 1993, pp. 473–476].

Die Lagerung erfolgt in Rückenlage (65), der Arm ist frei beweglich in Abduktion auf einem Armtisch gelagert. Die Lagerung kann ebenfalls in Seitenlage auf der gesunden Seite mit nach vorne gelagertem Arm erfolgen (11, 49, 58). Der Durchmesser der einzusetzenden Nägel hängt vom Markraumquerschnitt des Röhrenknochens ab und sollte circa einem Drittel des Raumes entsprechen (15, 32, 58). Beide Nägel müssen den gleichen Durchmesser haben (19). Die Nägel müssen geschärft werden (15, 19, 32, 49) und werden bei der Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur radialseitig ein Zentimeter distal der Tuberositas deltoidea eingebracht (23, 49). Es werden beide Nägel von lateral eingesetzt (32, 58). Die Implantation erfolgt also antegrad (siehe Abb. 4). So können die Nägel nach erfolgreicher Reposition die Fraktur von der Metaphyse her überschreiten und in die Epiphyse vorgeschlagen werden (11). Die laterale Humeruskortikalis wird nun mit einem Pfriem in einem Winkel von $< 45^\circ$ durchbohrt (49, 58). In der Bildwandlerkontrolle ist auf Folgendes zu achten: Zum einen ist das Drehen des Nagels um mehr als 180° um die eigene Achse und der sogenannte „Korkenziehereffekt“, dargestellt in Abbildung 5, nicht akzeptabel, zum anderen sind durch Repositionsmanipulationen eventuell verbogene Nägel zu entsorgen (19, 32, 58). Des Weiteren kann es zur Perforation eines Drahtes bei zu kräftigem Vorschlagen kommen (49).



Abbildung 5: Korkenziehereffekt nach dem Einbringen von Markraumnägeln [Veigel B, Kraus R, Illian C, Rixen D: „Elastisch-stabile intramedulläre Nagelung – Möglichkeiten und Grenzen eines Osteosyntheseverfahrens“, In: Trauma und Berufskrankheit 2012 p. 284-291].

Am Ende der Operation wird unter Bildwandlerkontrolle zur Prüfung der Stabilität der Unterarm maximal supiniert und proniert (49). Dann müssen die an der Hautinzision hervorstehenden Nagelenden auf circa ein bis eineinhalb Zentimeter unter Hautniveau gekürzt und rechtwinklig abgewinkelt werden (11, 15, 19, 32, 49, 58). Es kann die sofortige funktionelle Nachbehandlung durch Spontanmobilisierung begonnen werden (49).

1.3.1.4 Komplikationen

Allgemeine Komplikationen wie Wundheilungsstörungen oder Knocheninfektionen sind laut Marzi 2011 (15) auch bei ESIN selten, wenn auch nicht ausgeschlossen. Zu stark umgebogene oder überstehende Nägel können sie am ehesten auslösen. Ebenfalls stellt das in Kapitel 1.3.1.3 beschriebene „Korkenzieherphänomen“ eine Komplikation dar (15, 19). Eine typische Komplikation ist die Ante- oder Rekurvationsfehlstellung. Im Falle des Drehens der Drahtenden in die ventrale Richtung kommt es zu einem dorsalseitigen Klaffen der Fraktur. Dies geht mit einer Rekurvations- oder, bei einem dorsalseitigen Drehen, mit einer Antekurvationsfehlstellung einher (49).

Bei Weinberg 2003 (49) kam es trotz der frühzeitigen Freigabe zur Spontanmobilisation zu keiner Notwendigkeit für einen Therapiewechsel wegen sekundärer Dislokation.

Das extraartikuläre Vorgehen schließt des Weiteren die Gefahr einer septischen Arthritis aus. Auch die wiederholte Neuimplantation des Osteosynthesematerials während der Operation ist nicht nötig. Eine erneute Reposition ist möglich, ohne die Implantate zu entfernen. Zeigt sich während der Operation, dass das Repositionsergebnis nicht perfekt ist, werden die intramedullären Schienen lediglich bis hinter die Fraktur zurückgezogen, und die Reposition kann erneut durchgeführt werden. So kann die Traumatisierung des Gewebes geringgehalten werden. Durch das frakturferne Einbringen der Implantate wird eine Kontusion der ödematösen Frakturregion im Allgemeinen vermieden (11).

1.3.2 Kirschnerdraht-Osteosynthese

Hierbei handelt es sich um eine reine Adaptationsosteosynthese. Eine zusätzliche Gipsruhigstellung wird benötigt. Die Vorteile der Kirschnerdraht-Osteosynthese sind zum einen die perkutane Durchführung und die einfache Verfügbarkeit. Die Metallentfernung kann beim Belassen der Drahtenden über Hautniveau ohne Narkose vorgenommen werden (19).

1.3.2.1 Geschichte und Entwicklung der Kirschnerdraht-Osteosynthese

Der Kirschnerdraht wurde 1927 von dem deutschen Chirurgen Martin Kirschner eingeführt (93). Martin Kirschner wurde 1918 mit 37 Jahren der jüngste chirurgische Ordinarius der Albertus-Universität Königsberg. Im Jahr 1934 folgte er dem Ruf auf den Chirurgischen Lehrstuhl der Ruprecht-Karls-Universität in Heidelberg, traumatologische Erfahrung sammelte Kirschner schon 1914, als er bei dem Ausbruch des Ersten Weltkrieges zum III. Bayrischen Armee-Korps einberufen wurde (90). Im Zuge der sich rasch entwickelnden Frakturbehandlung im 20. Jahrhundert referierte Kirschner auf dem Deutschen Chirurgenkongress bereits 1938 über Extremitätenverletzungen und den „Verkehrsunfall und seine erste Behandlung“ (92).

Die Drahtextension nach Kirschner bot gegenüber den bis dahin üblichen Methoden einige Vorteile. Drähte von geringerem Durchmesser als Nägel verminderten das Auftreten von Infektionen. Die Technik des Bohrens im Gegensatz zum Einschlagen der Nägel minderte die Gefahr des Zersprengens der Kortikalis. Besonders bei Frakturen im Kindesalter war bis dahin die Sprengung der Kortikalis vor allem im Bereich der Wachstumsfuge eine folgenreiche Komplikation gewesen. Durch die Kirschnerdraht-Osteosynthese gab es eine Behandlungsmöglichkeit, eine Schaftfraktur in normaler Länge ohne Extension und größeren operativen Eingriff allein durch den direkt am Knochen angreifenden Zug durch gespannte Drähte adäquat zu versorgen (93).

1.3.2.2 Operationstechnik, Implantate und Instrumente

Die Kirschnerdraht-Osteosynthese ist in vielen Kliniken die Standardtherapie für die suprakondyläre Humerusfraktur. Sie erfolgt nach geschlossener oder offener Reposition in Bauch- oder Rückenlage (65). Sie stellt eine reine Adaptationsosteosynthese dar (19).

Zunächst erfolgt die Reposition der Fraktur, wie bereits in Kapitel 1.2.2 beschrieben. Die Kirschnerdraht-Osteosynthese erfolgt in circa drei Viertel der Fälle gekreuzt (25). Der Kirschnerdraht wird, meist zuerst von radial, perkutan eingesetzt. Der Epicondylus radialis liegt etwas ventraler als der ulnare Epikondylus und ist auch bei massiver Weichteilschwellung einfacher aufzufinden und zu palpieren. Beim Einsetzen der Kirschnerdrähte ist unbedingt darauf zu achten, dass der Draht niemals zu distal, sondern exakt im Epikondylus eingesetzt wird, da so eine Durchbohrung der Wachstumsfuge vermieden wird (8, 10, 19). Während laut Marzi 2011 (15) ein einmaliges Durchbohren der Fuge keinen vorzeitigen Verschluss auslöst, ist hingegen bei mehrfachen Bohrversuchen eine schwere Fugenschädigung zu erwarten.

Die Dicke der Kirschnerdrähte variiert zwischen 1,2–2,5 Millimeter (19, 22, 23). Die Drähte können perkutan gekreuzt, unilateral von radial oder bilateral von radial und ulnar eingeführt werden (65).

Wenn zuerst die radiale Spickung erfolgreich durchgeführt wurde, sollte anschließend der etwas weiter dorsal gelegene Epicondylus ulnaris lokalisiert werden. Wenn dieser palpabel ist, ist davon auszugehen, dass das Einbringen des Drahtes keine Läsion des Nervus ulnaris nach sich ziehen wird (8, 31). Ein offener ulnarer Zugang bietet jedoch immer den Vorteil, das ulnare Nerven- und Gefäßbündel leichter zu visualisieren (10, 22). Nun ist der ulnare Draht von dorsal nach ventral einzubringen, ohne den Sulcus ulnaris und somit den Nervus ulnaris zu tangieren (10, 22).

Die Kreuzung der Drähte sollte auf keinen Fall in der Fraktur, sondern proximal davon stehen, um eine möglichst hohe Stabilität, insbesondere in Bezug auf eine mögliche Rotation, zu erreichen (8, 15, 19, 55, 65).

Eine Röntgenkontrolle erfolgt intraoperativ (8, 22). Bevor die Anlage der Gipsschiene oder des gespaltenen Oberarmgipses erfolgt, muss die korrekte Lage der Kirschnerdrähte und die korrekte Reposition überprüft werden (22). Die Drähte am Implantationsort können perkutan herausstehen oder unter die Haut versenkt werden. Herausstehende Drähte können nach drei bis vier Wochen mit einer Fasszange und ohne Vollnarkose entfernt werden, jedoch ist die Gefahr eines Infektes gegeben, besonders wenn die herausstehenden Drähte in direktem Kontakt zu dem Gips stehen. Auch kann ein ständiges Schlagen des Gipses gegen die Drähte zur Lockerung der Drähte führen. Es muss somit immer ein ausreichend gipsfreier Hof um die Drähte gewährleistet sein (8).

1.3.2.3 Typische Komplikationen

Ein Risiko besteht, wie bei jeder intraartikulären Osteosyntheseversorgung, in der septischen Gelenkaffektion (11). Wachstumsstörungen sind im Rahmen mehrfacher Bohrversuche durch die Kondylen, also durch die Wachstumsfuge, möglich (8).

Eine speziell für die Versorgung von suprakondylären Humerusfrakturen typische Komplikation ist die iatrogene N.-ulnaris-Läsion (64). Durch das „blinde“ Einbringen des Kirschnerdrahtes von ulnar ist, aufgrund der anatomischen Gegebenheiten, immer die Verletzungsmöglichkeit des Nervus ulnaris gegeben (33). Bei Eberl 2011 (23) entstanden bei Versorgung mit Kirschnerdraht-Osteosynthese in 15 % der Fälle iatrogene Nervus-ulnaris-Verletzungen. Bei Laer 1996 (8) wurde bei 13 % der Patienten eine postoperative N.-ulnaris-Läsion diagnostiziert. Auch wenn eine spontane Rückbildungsrate der Nervus-ulnaris-Läsionen von 98 % dokumentiert ist (8), werden nach wie vor verschiedene Methoden zur Vermeidung der iatrogenen Nervus-ulnaris-Läsion diskutiert.

Es wird beispielsweise empfohlen, zur Vermeidung von iatrogenen Nervenschäden gänzlich auf den medialen Pin zu verzichten und die Kirschnerdraht-Osteosynthese mit zwei oder drei radialen Pins durchzuführen (33). Das Risiko einer iatrogenen Nervenläsion scheint so vermindert (112, 113). Bei prospektiven Studien zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich iatrogenen Nervenläsionen (41, 47, 48, 52). Dem entgegen steht die Vermutung, dass die rein laterale Pinnung eine geringere Stabilität bietet. In verschiedenen Studien (35, 63, 112) konnte dies jedoch widerlegt werden.

1.4 Fragestellung

Die Kirschnerdraht-Osteosynthese ist weltweit in den meisten Kliniken das übliche Osteosyntheseverfahren zur operativen Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur im Kindesalter. Eine Alternative stellt die ESIN-Osteosynthese dar. In dieser Arbeit sollen beide Osteosyntheseverfahren miteinander hinsichtlich ihrer

unmittelbaren intra- und postoperativen Komplikationen, des Heilungsverlaufes und der Spätfolgen verglichen werden.

Bei einer Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur mittels intramedullärer Nagelung muss kein Gips angelegt werden, eine Mobilisation ist frühzeitig möglich (11, 49). Die frühe Wiederaufnahme der Bewegung kommt nicht nur den Patienten zugute, die komfortable Behandlungsmethode lässt auch jederzeit klinische Kontrollen und Beurteilungen durch den behandelnden Arzt zu. Muskelatrophien oder Gelenkversteifungen kommen seltener zustande (11). Des Weiteren vermindert das extraartikuläre Vorgehen die erneute intraoperative Traumatisierung der Fraktur-region durch das frakturferne Einbringen der Implantate. Auch eine intraoperative Korrektur der Reposition kann erfolgen, ohne dass die Implantate entfernt und wieder neu eingesetzt werden müssen (11). Nachteile der ESIN-Versorgung sind die anspruchsvollere OP-Technik, die speziellen Komplikationen bei falscher Einbringtechnik der Nägel wie zum Beispiel das Korkenzieherphänomen. Ebenfalls von Nachteil ist die erneute Narkose, die in jedem Fall zur Metallentfernung benötigt wird. Das Fremdmaterial wird außerdem länger im Körper belassen.

Die Kirschnerdraht-Osteosynthese ist bei Typ-IV-Frakturen oft die einzig mögliche Methode zur korrekten Reposition der Frakturfragmente, jedoch bringt sie einige Nachteile mit sich: Die Weichteilschwellung im Frakturbereich erschwert oft einen nervenschonenden und adäquaten Operationsvorgang. Die Instabilität dieser Osteosynthese erfordert eine zusätzliche Immobilisation im Gipsverband für mindestens drei bis vier Wochen (49). Von Vorteil ist, dass es sich bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese um eine schnell durchzuführende, kostengünstige Methode handelt, die deutlich einfacher zu erlernen ist als die ESIN-Osteosynthese. Zur Metallentfernung ist außerdem bei über dem Hautniveau herausstehenden Drähten keine zweite Narkose notwendig.

Ziel der Arbeit ist es, herauszuarbeiten, welche Methode in welchem Fall die besten Ergebnisse für den Patienten erzielt. Im Zuge der statistischen Untersuchung soll neben der epidemiologischen Erhebung der Daten vor allem das Auftreten von Komplikationen untersucht werden.

Es wurde zum einen die Hypothese geprüft, ob die Wartezeit bis zur Operation das Outcome der Patienten beeinflusst, und es wurden Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht und Frakturtyp in Hinblick auf die Komplikationsrate im Behandlungsverlauf untersucht.

Das Auftreten der iatrogenen N.-ulnaris-Läsion führt bei Untersuchungen zu kontroversen Ergebnissen. Die Kirschnerdraht-Osteosynthese steht seit längerer Zeit im Verdacht, durch das perkutane Einbringen von Drähten am medialen Kondylus den Nervus ulnaris zu beschädigen (5, 8, 10, 22, 23). Hinsichtlich der Komplikationsanalyse wurde daher auch gesondert die iatrogene Nervus-ulnaris-Läsion beobachtet.

2 Material und Methoden

2.1 Datenerfassung

In die retrospektive Studie wurden alle Patienten konsekutiv eingeschlossen, die vom 01.03.2007 bis 31.08.2014 in der Kinderchirurgischen Klinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital der Ludwig-Maximilians-Universität in München eine operative Versorgung bei suprakondylärer Humerusfraktur erhielten. Zur Datenerhebung standen die digital abrufbaren Akten mit OP-Berichten, Anästhesie- und Pflegedokumenten, Entlass- und Sprechstundenbriefen, Verlaufsdokumentationen sowie die Röntgenbilder der Patienten zur Verfügung. Des Weiteren konnte auf die Einweisungs- und Operationszeiten zugegriffen werden.

Ein Fragebogen zur standardisierten und vollständigen Erhebung der Daten wurde konzipiert und für die Datenerfassung angewandt.

2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Merkmal	Patientenmerkmale	
	Einschlusskriterium	Ausschlusskriterium
Alter der Patienten	12 Monate bis 16 Jahre	unter einem Jahr, über 16 Jahre
Frakturtyp	suprakondyläre Humerusfraktur, Typ 2-4 nach „AO Comprehensive Classification“	Verletzung der Wachstumsfuge, zusätzliche Fraktur des Humerus
Therapie	operativ	konservativ
OP-Verfahren	ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese	Fixateur externe, andere Operationsverfahren
Reposition	offene und geschlossene Reposition	-
Behandlungszeitraum	komplette Versorgung im Dr. von Haunerschen Kinderspital	Revision, Voroperation, Metallentfernung oder Follow-up in externer Klinik

Tabelle 12: Patientenmerkmale, die zum Ein- beziehungsweise Ausschluss aus der Studie führten.

Im Zeitraum von Januar 2007 bis August 2014 wurden in der Kinderchirurgischen Klinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital 191 suprakondyläre Humerusfrakturen operativ versorgt. Die Ein- und Ausschlusskriterien sind in Tabelle 12 dargestellt. Einschlusskriterien waren das Vorhandensein einer suprakondylären Humerusfraktur, die operativ versorgt wurde. Ausschlusskriterien waren alle Frakturen mit weiterer Beteiligung des Ellenbogens und Beteiligung der Wachstumsfuge (z. B. transkondyläre Frakturen mit Wachstumsfugenläsion). Ebenfalls ausgeschlossen wurden neun Patienten, deren Weiterbehandlung und Nachsorgeuntersuchungen in einer anderen Klinik stattfanden, sowie drei Patienten, die in einer externen Klinik bereits operativ versorgt worden waren und bei deren Operationen im Dr. von Haunerschen Kinderspital es sich um Revisionen handelte. In die Studie einbezogen wurden jedoch diejenigen Patienten, die neben einer suprakondylären Humerusfraktur zusätzlich einen isolierten Epikondylenabriss (1 Patient) oder eine zusätzliche Unterarmfraktur (3 Patienten) erlitten hatten. Die Klassifizierung der Frakturen wurde anhand der Einteilung der AO Pediatric Comprehensive Classification und Laer getroffen. Der Beobachtungszeitraum erstreckt sich vom Unfalltag bis zur letzten Nachuntersuchung und endet mit der Freigabe des Patienten durch den behandelnden Arzt.

2.1.2 Fragebogen

Tabelle 13 zeigt den verwendeten Fragebogen.

Parameter	Eintrag	
Alter bei Unfall	pädiatrisches Alter	
Geschlecht	männlich	weiblich
Unfalldatum	Tag/Monat/Jahr	

Parameter	Eintrag		
Schul-/Wegeunfall	ja	nein	
Erscheinen in der Ambulanz	Datum	Uhrzeit	
Wartezeit bis zur Operation	Minuten		
Frakturtyp nach AO/Laer	II	III	IV
Frakturlokalisierung	links	rechts	
Frakturart	offen	geschlossen	
Frakturtyp	Extensionsfraktur	Flexionsfraktur	
initiale Nervenläsionen	N. medianus	N. radialis	N. ulnaris
Begleitverletzungen	Gefäßläsion	zusätzliche Fraktur	
Unfallursache	individuelle Angabe		
Operationsmethode	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese	
Repositionsmethode	offen	geschlossen	
Anzahl der Pins	von radial eingebrachte Pins	von ulnar eingebrachte Pins	
Verfahrenswechsel	Umstiegsgrund		
stationärer Aufenthalt	Anzahl Tage		
Sportkarenz	Anzahl Tage		
Behandlungsdauer	Anzahl Tage		
Tage bis zur Metallentfernung	Anzahl Tage		
Bewegungseinschränkung im Verlauf	Flexionseinschränkung in °	Extensions-einschränkung in °	
postoperative motorische Defizite	N. medianus (ja/nein)	N. radialis (ja/nein)	N. ulnaris (ja/nein)
postoperative sensible Defizite	N. medianus (ja/nein)	N. radialis (ja/nein)	N. ulnaris (ja/nein)
Fehlstellungen	Varusfehlstellung in °	Valgusfehlstellung in °	
Wundinfektionen	ja	nein	Antibiotika- gabe?
Revision	ja	nein	Grund?
kosmetische Mängel	ja	nein	Welche?
Pathologien bei Freigabe	ja	nein	Welche?
Besonderheiten	individuelle Angabe		

Tabelle 13: Fragebogen zur Datensammlung.

Die Wartezeit bis zur Operation wurde in Minuten von der Anmeldung in der Ambulanz bis zum Operationsbeginn angegeben. Die Einteilung der Frakturtypen erfolgte, wie bereits beschrieben, durch die AO-Klassifikation und die Einteilung nach Laer. Als initiale Nervenverletzungen wurden alle Läsionen gewertet, die bereits vor der operativen Versorgung dokumentiert worden waren. Als Begleitverletzungen wurden Gefäßverletzungen oder weitere Frakturen desselben Armes gewertet. Als Behandlungsdauer wurden die Tage vom ersten Erscheinen in der Ambulanz bis zum letzten Follow-up-Termin gezählt.

2.2 Statistische Auswertung

2.2.1 Statistische Programme

Alle Daten wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel Version 15.0 für Windows (Sitz: Redmond, USA) aus dem Jahr 2013 erfasst, anonymisiert und als Tabelle dargestellt. Alle Summen, Mittelwerte und Standardabweichungen wurden mit dem Programm Excel berechnet.

Die statistischen Tests wurden mit dem Programm IBM SPSS Statistics Version 23.0 aus dem Jahr 2015 der Firma SPSS Inc. (Sitz: Armonk, USA) durchgeführt. Dies beinhaltet den Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest nach Pearson, den Fisher-Exact-Test, den t-Test und den F-Test für Mittelwertunterschiede. Der Fisher-Exact-Test mit mehr als einem Freiheitsgrad wurde mit dem Programm Statistics to use (103) der Universitäten College of Saint Benedict und Saint John's University aus Minnesota, USA, durchgeführt.

Alle Diagramme wurden mit dem Programm Pages Version 5.6.1 (OS X) der Firma Apple Inc. (Sitz: Cupertino, USA) aus dem Jahr 2015 erstellt.

2.2.2 Statistische Tests

Für die statistische Auswertung wurden verschiedene Tests genutzt, die im Folgenden erläutert werden.

2.2.2.1 Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest

„Mit dem Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test) für eine Variable können wir prüfen, ob die in einer Stichprobe beobachtete Häufigkeitsverteilung der untersuchten Variablen signifikant von einer Häufigkeitsverteilung abweicht, die in der Population angenommen oder vermutet wird. Die in der Population angenommene Häufigkeitsverteilung entspricht der Nullhypothese“ (80).

Der Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test) findet in Studien Anwendung, in denen Häufigkeiten von kategorialen Merkmalen innerhalb verschiedener Stichproben verglichen werden sollen.

Er kann eine Aussage darüber treffen, ob sich die beobachteten Häufigkeiten signifikant von denen unterscheiden, die man im Falle einer statistischen Unabhängigkeit erwarten würde. Es müssen also zuerst Merkmale festgelegt werden und dann ihr statistischer Zusammenhang untersucht werden.

Testvoraussetzungen:

1. unabhängige Zufallsstichproben
2. Die erwarteten Häufigkeiten in jeder Zelle müssen größer als 5 sein
3. Der χ^2 -Test darf nur auf Häufigkeiten und nicht auf relative Werte, wie z. B. Prozentangaben oder Brüche, angewendet werden
4. Die Variablen sind nominalskaliert

Die Untersuchung erfolgt in einer Kreuztabelle. Es werden zwei kategorische Variablen gegenübergestellt. Die Ausprägungen der ersten Variablen werden in Spalten geschrieben, die Ausprägungen der zweiten Variablen in Zeilen. In den Zellen sind die Verbundhäufigkeiten beider Variablen einzufügen (die Häufigkeiten, für die sowohl das Merkmal aus der Zeile sowie aus der Spalte zutrifft).

	Spalte 1	Spalte 2	...	Spalte n	Σ
Zeile 1	$h(1,1)$	$h(1,2)$	...	$h(1,n)$	$h(1,x)$
Zeile 2	$h(2,1)$	$h(2,2)$	...	$h(2,n)$	$h(2,x)$
...
Zeile m	$h(m,1)$	$h(m,2)$	...	$h(m,n)$	$h(m,x)$
Σ	$h(x,1)$	$h(x,2)$	...	$h(x,n)$	$h(x,x)$

Tabelle 14: Kreuztabelle für Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest.

In der letzten Spalte sind alle Werte der Spalten zu addieren, in der letzten Zeile alle Werte der Zeilen. Die letzte Zeile in der letzten Spalte beschreibt die Größe der Stichprobe ($h(x, x) = n$). Tabelle 14 zeigt die verwendete Kreuztabelle für den Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest

Die (geschätzten) erwarteten Häufigkeiten, unter der Annahme der Unabhängigkeit, berechnen sich aus den jeweiligen Spalten- und Zeilensummen:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{beobachtete Häufigkeit} - \text{erwartete Häufigkeit})^2}{\text{erwartete Häufigkeit}}$$

Zur Berechnung des χ^2 -Wertes (der Prüfgröße) muss für jede Zelle der Kreuztabelle das Verhältnis von erwarteter zur beobachteten Häufigkeit berechnet werden.

Der Chi-Quadrat-Wert kann daher als Summe all dieser Werte bezeichnet werden:

$$\hat{h}_{n,m} = \frac{\text{Zeilensumme} \times \text{Spaltensumme}}{\text{Gesamtsumme}}$$

Der Chi-Quadrat-Wert ist eine numerische Größe. Der Wert gibt den Unterschied zwischen den erwarteten Häufigkeiten und den beobachteten Werten/Häufigkeiten an.

Die empirischen, in der Studie beobachteten, Häufigkeiten beider Merkmale werden so mit den unter dem Modell statistischer Unabhängigkeit erwarteten Häufigkeiten verglichen (71, 73, 74).

Die Nullhypothese (H_0) besagt, dass die jeweiligen Merkmale statistisch voneinander unabhängig sind. Die Prüfgröße (χ^2) hätte somit den Wert Null ($\chi_0^2 = 0$).

Die Alternativhypothese (H_A) besagt, dass die jeweiligen Merkmale statistisch voneinander abhängig sind. Die Prüfgröße (χ^2) wäre somit größer als Null ($\chi_A^2 > 0$).

Man berechnet nun einen Ablehnungsbereich, der sich aus dem kritischen Wert χ_c^2 ergibt.

Der kritische Wert χ_c^2 ist konstant und aus der Tabelle der χ^2 -Verteilung zu entnehmen. Er ist abhängig von den Freiheitsgraden der Kreuztabelle ($df = (r-1) \times (c-1)$) und von dem gewählten Signifikanzniveau (z. B. $p = 0,05$). Der Ablehnungsbereich geht von χ_c^2 bis $+\infty$ (der kritische Wert χ_c^2 gehört noch zum Annahmebereich).

Fällt die für die Stichprobe berechnete Prüfgröße χ^2 in den Ablehnungsbereich, wird die Nullhypothese verworfen. Anderenfalls wird die Nullhypothese angenommen.

Die Festlegung des Signifikanzniveaus beschreibt die Irrtumswahrscheinlichkeit, also die Wahrscheinlichkeit des Fehlers der 1. Art. Die implizite (asymptotische) Signifikanz dient als Andeutung der Plausibilität des Stichprobenergebnisses. In unserer Studie wurde eine Signifikanzschwelle von $\alpha = 0,05$ gewählt. Für hochsignifikante Ergebnisse musste $\alpha < 0,01$ sein (74). Anhand der impliziten Signifikanz der Prüfgröße (p-Wert) kann der Hypothesentest ebenfalls entschieden werden. Liegt der p-Wert unter dem festgelegten

Signifikanzniveau von 5 %, ist der χ^2 -Test signifikant geworden (73, 74). Je kleiner der p-Wert, desto wahrscheinlicher ist ein Zusammenhang und desto eher kann die Nullhypothese verworfen werden.

Ein signifikantes Ergebnis des Chi-Quadrat-Tests sagt jedoch noch nichts über die Stärke des Effekts, also den Zusammenhang, aus, da die Stichprobengröße den Test beeinflusst. Je größer die Stichprobe ist, desto eher werden auch kleine Unterschiede signifikant.

Der χ^2 -Test sagt also aus, dass es Unterschiede gibt, ohne die Richtung des Effekts zu benennen. Daher ist es nicht möglich, aus einem signifikant gewordenen χ^2 -Test abzulesen, ob die beobachteten Werte größer oder kleiner sind als die erwarteten Werte (71, 73, 74).

2.2.2.2 Exakter Test nach Fisher

Beträgt die erwartete Zellhäufigkeit $n \leq 5$, sollte anstelle des χ^2 -Testes der exakte Test nach Fisher verwendet werden. Es handelt sich dabei ebenfalls um einen Test zum Vergleich binärer Daten in unverbundenen Stichproben. Er kann ebenso als Signifikanztest auf Unabhängigkeit von Häufigkeiten in einer Kontingenztafel angewendet werden, da er auch bei Stichproben von Einzelhäufigkeiten von ≤ 5 zuverlässige Ergebnisse liefert. Der exakte Test nach Fisher wird auch als exakter χ^2 -Test bezeichnet, weil bei der Festlegung des Signifikanzniveaus die exakte Verteilung der Teststatistik verwendet wird und keine Approximation.

Die Fragestellung wird beim exakten Test nach Fisher ebenfalls via zweier Hypothesen formuliert, wobei die Nullhypothese (H_0) besagt, dass die Häufigkeiten in den Gruppen gleich sind; die Alternativhypothese (H_A) besagt, dass die Häufigkeiten der Gruppen statistisch signifikant unterschiedlich sind. Für die Kombinationen der Zellhäufigkeiten, die entstehen könnten, werden die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten berechnet und addiert:

$$p_{\text{value}} = \sum_{P_i < P} P_i + P$$

Variiert man das Feld a nun bis in die Extrembereiche, können alle Wahrscheinlichkeiten berechnet werden, die unter der Gültigkeit von H_0 beobachtet werden könnten. Bei jeder Kombination werden die anderen Felder, unter Berücksichtigung der konstanten Randsummen, angepasst. Dies ist so lange durchzuführen, bis Werte von < 0 entstehen oder eine maximale Erhöhung von a erreicht wird.

Die Wahrscheinlichkeiten für den beobachteten Fall und die Wahrscheinlichkeiten für die extremeren Fälle werden nach folgender Formel berechnet und addiert.

$$P = \frac{\binom{a+b}{a} \times \binom{c+d}{d}}{n \choose a+c} = \frac{(a+b)!(c+d)!(a+c)!(b+d)!}{n!a!b!c!d!}$$

H_0 wird abgelehnt, wenn der p-Wert (p-value) kleiner als das vorgegebene Signifikanzniveau ist (79). Tabelle 15 stellt die Kreuztabelle für Fisher-Exact-Tests dar.

	A (krank)	Nicht A (gesund)	Σ
B (Therapie)	a	b	a + b
Nicht B (keine Therapie)	c	d	c + d
Σ	a + b	b + d	n = a + b + c + d

Tabelle 15: Kreuztabelle für Fisher-Exact-Test.

2.2.2.3 T-Test für Mittelwertunterschiede zwischen zwei unabhängigen Stichproben

Für die statistische Untersuchung von Mittelwertunterschieden wurden sowohl der t-Test (bei zwei unabhängigen Stichproben) und der F-Test (bei drei unabhängigen Stichproben) benutzt. Bei beiden Tests wird ein kontinuierliches Merkmal untersucht. Dabei soll geprüft werden, ob sich die arithmetischen Mittel dieses Merkmals in zwei beziehungsweise mehreren Stichproben signifikant unterscheiden. Mittelwertvergleiche bieten sich immer dann an, wenn Fallgruppen hinsichtlich bestimmter Variablen auf Unterschiede und Ähnlichkeiten untersucht werden sollen und die gemessenen Werte in einer Intervallskala vorliegen. So kann man also feststellen, ob eine in der Studie aufgetretene Mittelwertdifferenz zwischen zwei Stichproben zufällig zustande gekommen ist oder mit einer hohen Wahrscheinlichkeit auch in der Grundgesamtheit der Bevölkerung, aus der die Stichprobe entnommen wurde, vorliegt. Wäre dies der Fall, wäre die Differenz im statistischen Sinne nicht signifikant (70).

Bei diesem Test soll mithilfe der arithmetischen Mittelwerte des Merkmals geprüft werden, ob sich zwei Stichproben (n_1, n_2) hinsichtlich der Mittelwertdifferenz signifikant unterscheiden.

Testvoraussetzungen:

1. unabhängige Zufallsstichproben
2. Varianzhomogenität
3. Normalverteilung des untersuchten Merkmals in beiden Grundgesamtheiten (oder alternativ: große Stichproben)
4. Die Variablen sind intervallskaliert
5. Die Variable liegt als Dichotomie vor.

Durch das notwendige dichotome Vorliegen der Variablen ist der t-Test für Mittelwertunterschiede nicht geeignet für Variablen mit mehr als zwei Ausprägungen. Des Weiteren ist für die Sinnhaftigkeit der statistischen Auswertung unbedingt darauf zu achten, dass die unabhängigen Stichproben keinen Confounder aufweisen (70, 71, 72). Je größer die Stichprobe ist, desto eher kann man außerdem davon ausgehen, dass die Mittelwertdifferenz normalverteilt ist. Für den Fall, dass die statistische Analyse zwei unabhängige Zufallsstichproben beinhaltet, ist von einer Normalverteilung der Mittelwertdifferenzen ab einem Stichprobenumfang von $n_1 + n_2 \geq 50$ auszugehen (70).

Es wird zuerst die Nullhypothese ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) festgelegt, die besagt, dass die Mittelwerte in der Grundgesamtheit gleich sind. Aus der Nullhypothese ergibt sich die Alternativhypothese ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$), die aussagt, dass die Mittelwerte in der Grundgesamtheit verschieden sind (70, 71). Diese kann entweder einseitig oder zweiseitig formuliert sein. Der einseitige Test kann entweder auf Zunahme oder Abnahme des Messwertes ausgerichtet sein und erklärt das Ergebnis dann als signifikant, wenn die Prüfgröße oberhalb oder unterhalb des Ablehnungsbereiches liegt. Die zweiseitig formulierte Hypothese zeigt lediglich an, ob generell ein Unterschied der Mittelwerte vorliegt, unabhängig davon, ob der zu untersuchende Mittelwert höher oder niedriger ist.

Sollen nun zwei Merkmale verglichen werden, werden n_1 mit einer Variable (z. B. Geschlecht männlich) und n_2 mit einer anderen Variable (z. B. Geschlecht weiblich) hinsichtlich dieser Merkmale (z. B. Gewichtszunahme nach Eintritt ins Rentenalter) verglichen.

Nun ergibt sich ein erster und zweiter Mittelwert mit jeweiliger Varianz. Man berechnet die gewichtete Varianz (s^2) und daraus die Prüfgröße (t).

Die gewichtete Varianz berücksichtigt die Varianzen beider Stichproben, abhängig von der Stichprobengröße:

$$s^2 = \frac{(n-1)s_x^2 + (m-1)s_y^2}{n+m-2}$$

(n = Anzahl männlicher Probanden, m = Anzahl weiblicher Probanden)

Berechnung der Prüfgröße:

$$t = \frac{\sqrt{\frac{n \times m}{n+m}} \times \bar{x} - \bar{y}}{s}$$

(n = Anzahl männlicher Probanden, m = Anzahl weiblicher Probanden)

Die Prüfgröße kann negativ oder positiv sein, je nachdem, ob der vergleichende Mittelwert kleiner oder größer als der Ausgangsmittelwert ist.

Es wird die Wahrscheinlichkeit des Fehlers der 1. Art festgelegt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde in unserer Studie auf $\alpha = 0,05$ für signifikante Ergebnisse und auf $\alpha = 0,01$ für hochsignifikante Ergebnisse festgelegt.

Der Ablehnungsbereich ergibt sich aus dem tabellierten, kritischen t-Wert (t_c) bis plus unendlich ($+\infty$) beziehungsweise minus unendlich ($-\infty$). Dieser Bereich entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass die gemessene Differenz nur auf Zufall beruht, also ein falsch-positives Ergebnis ist.

Der tabellierte t-Wert hängt vom festgelegten Signifikanzniveau α (z. B. 0,05), von den Freiheitsgraden und der Fragestellung (einseitig oder zweiseitig) ab und kann aus vorgegebenen Tabellen (76) abgelesen werden. Der Vergleich des t-Wertes mit dem Ablehnungsbereich zeigt nun auf, ob die Differenz der Mittelwerte der Stichproben statistisch signifikant ist. Befindet sich der t-Wert innerhalb des Ablehnungsbereiches, kann die Nullhypothese verworfen und das Ergebnis als statistisch signifikant gewertet werden (70, 72).

2.2.2.4 F-Test für Mittelwertunterschiede zwischen drei unabhängigen Stichproben (einfache Varianzanalyse)

Der F-Test untersucht, wie der t-Test, kontinuierliche Merkmale. Es wird geprüft, ob sich die arithmetischen Mittel des jeweiligen Merkmals in mehreren Stichproben signifikant unterscheiden. Die Anzahl der Stichproben ist bei diesem Test größer als zwei.

Testvoraussetzungen:

1. unabhängige Zufallsstichproben
2. Varianzhomogenität
3. Normalverteilung des untersuchten Merkmals in den jeweiligen Grundgesamtheiten (alternativ: große Stichproben).

Die Nullhypothese (H_0) besagt, dass das arithmetische Mittel des untersuchten Merkmals in allen drei Grundgesamtheiten gleich ist ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$). Die Alternativhypothese (H_A) besagt, dass das arithmetische Mittel des untersuchten Merkmals in mindestens zwei Grundgesamtheiten verschieden ist ($\mu_1 \neq \mu_2$ oder $\mu_1 \neq \mu_3$ oder $\mu_2 \neq \mu_3$) (71, 75). Der F-Test baut auf dem Vergleich zweier Varianzschätzungen auf. Er vergleicht die Varianz des untersuchten Merkmals zwischen den Stichproben mit der Varianz innerhalb der Stichproben. Die Prüfgröße hätte den Wert 1 ($f_0 = 1$), wenn die Nullhypothese zutrifft. Die

Alternativhypothese besagt, dass die Varianz des untersuchten Merkmals zwischen den Stichproben größer ist als die Varianz innerhalb der Stichproben. Die Prüfgröße wäre dann größer als 1 ($f_A > 1$).

Die Irrtumswahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit des Fehlers der 1. Art) wurde hier ebenfalls auf $\alpha = 0,05$ für signifikante Ergebnisse und auf $\alpha = 0,01$ für hochsignifikante Ergebnisse festgelegt.

Die Prüfgröße berechnet sich aus den Freiheitsgraden, der Summe der Abweichungsquadrate der Mittelwerte zwischen den Stichproben und der Summe der Abweichungsquadrate der Mittelwerte innerhalb der Stichproben sowie aus der Anzahl der untersuchten Stichproben (g) und der Gesamtzahl aller Beobachtungen ($n = n_1 + n_2 + n_3$):

$$f = \frac{\frac{\text{Summe der Abweichungsquadrate zwischen den Stichproben}}{g-1}}{\frac{\text{Summe der Abweichungsquadrate innerhalb der Stichproben}}{n-g}}$$

Der Ablehnungsbereich für die einseitige Alternativhypothese (H_A) reicht von f_c bis $+\infty$ (der kritische Wert f_c gehört noch zum Annahmebereich). Der kritische Wert f_c kann ebenfalls einer Tabelle der F-Verteilung entnommen werden (75).

3 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Resultate der statistischen Auswertung dargestellt. Einer deskriptiven Statistik folgt die Komplikationsanalyse. In der Studie wurden vor allem der Behandlungsverlauf und etwaige Komplikationen sowie eventuell einflussnehmende Faktoren beobachtet. Ziel war es auch, einen Vergleich der zwei Osteosynthesemethoden ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese in Hinblick auf Verlauf und Komplikationen darzustellen sowie im Speziellen die postoperativ auftretende N.-ulnaris-Läsion zu erfassen.

Es wurden in einem Zeitraum von sieben Jahren 191 Kinder mit suprakondylärer Humerusfraktur mit ESIN- oder Kirschnerdraht-Osteosynthesen operativ versorgt. In unsere Studie wurden 178 Patienten eingeschlossen. Ausschlusskriterien waren die bereits erfolgte operative Versorgung der Fraktur in einer anderen Klinik, die zu einer Revision in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals führte ($n = 3$) sowie eine extern durchgeführte Weiterbehandlung und Nachuntersuchung ($n = 9$). War eine Operation im Vorfeld in einer anderen Klinik durchgeführt worden, fehlten zur Interpretation des Falles Aufnahmebogen, Arztbrief und Operationsbericht, sodass eine korrekte Analyse nicht möglich war und somit zum Ausschluss des Falles führte. In einem Fall war die primäre Operation im Ausland erfolgt. Dies machte eine korrekte Beurteilung des prä- und postoperativen Zustandes des Patienten ebenso unmöglich.

3.1 Deskriptive Statistik

Das Durchschnittsalter zum Unfallzeitpunkt betrug 5,9 Jahre (Median 6), das jüngste Kind war 1,8 Jahre und das älteste 15,5 Jahre alt. Die Altersverteilung ist in Abbildung 6 zu erkennen.

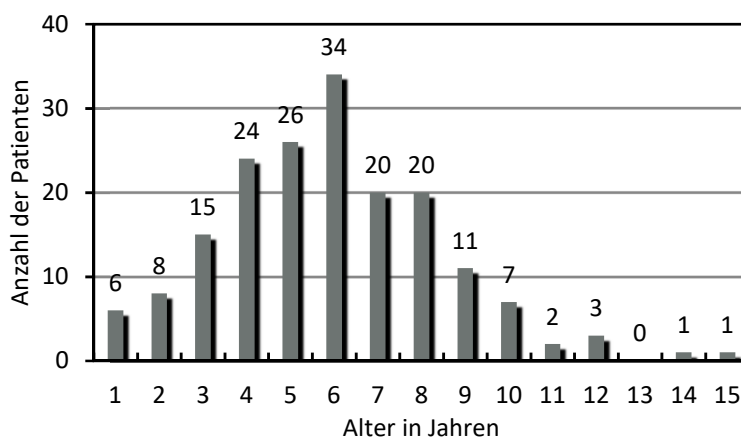


Abbildung 6: Alter der Patienten in Jahren.

Das Durchschnittsalter der Jungen lag mit 6,03 Jahren über dem der Mädchen (5,93 Jahre). Der Unterschied war nicht statistisch signifikant ($p = 0,5969$). Die Verteilung der Geschlechter präsentierte sich in einem Verhältnis von ca. 2:1 (siehe Tabelle 17).

Um zu untersuchen, ob in verschiedenen Altersgruppen die Verteilung der Geschlechter einen untypischen Wert annimmt, wurden diese Altersgruppen (0–3-Jährige, 4–6-Jährige, 7–10-Jährige, > 10-Jährige) gesondert, unterschieden nach Geschlechtern, untersucht (siehe Tabelle 16). Alle Altersgruppen wiesen annähernd die für die SHF typische 2:1-Verteilung (M:W) auf. Die Verteilung in der Altersgruppe der > 10-Jährigen konnte aufgrund der geringen Fallzahl nicht verwertet werden.

	Jungen	Mädchen	Gesamt
0–3 Jahre	20 (68,9 %)	9 (31,1 %)	29
4–6 Jahre	44 (52,42 %)	40 (47,6 %)	84
7–10 Jahre	38 (65,5 %)	20 (34,5 %)	58
> 10 Jahre	6 (85,7 %)	1 (14,3 %)	7
Summe	108 (60,6 %)	70 (39,4 %)	178

Tabelle 16: Dargestellt ist der Anteil männlicher und weiblicher Patienten in den Altersgruppen der 0–3-, 4–6-, 7–10- und bei über 10-Jährigen.

	Jungen	Mädchen	Gesamt
Anzahl	108 (60,6 %)	70 (39,4 %)	178 (100 %)

Tabelle 17: Anteil männlicher und weiblicher Patienten.

Die Frakturlokalisierung stellte sich ebenfalls annähernd in einem 2:1-Verhältnis dar. 62,4 % der Frakturen betrafen den linken Arm, 37,6 % den rechten (siehe Abbildung 7).

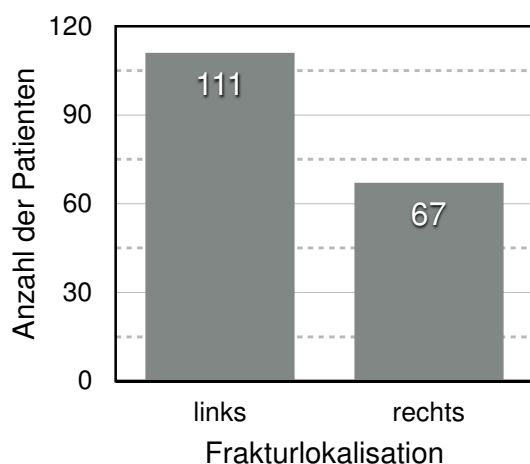


Abbildung 7: Frakturlokalisierung.

Das Auftreten von suprakondylären Humerusfrakturen, über das Jahr hinweg betrachtet, zeigte einen Trend zu den Sommermonaten. 70,2 % aller Unfälle ereigneten sich im Frühling und im Sommer (siehe Tabelle 18).

Im Zuge der Auswertung wurde ebenfalls das Auftreten von Schul- und Wegeunfällen untersucht und in Tabelle 19 dargestellt. 25,3% der im Dr. von Haunerschen Kinderspital behandelten Kinder erlitten eine suprakondyläre Humerusfraktur während eines Unfalls in Kindergarten, Schule oder auf dem Weg dorthin beziehungsweise auf dem Weg nach Hause.

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Gesamt
Anzahl Patienten mit SHF	62 (34,8 %)	63 (35,4 %)	34 (19,1 %)	19 (10,6 %)	178 (100 %)

Tabelle 18: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten mit SHF, verteilt über Frühling, Sommer, Herbst und Winter.

Gesamt	Freizeitunfälle	Schul- und Wegeunfälle
178 (100 %)	133 (74,7 %)	45 (25,3 %)

Tabelle 19: Dargestellt ist der Anteil der Freizeitunfälle und Schul- und Wegeunfälle.

Der Großteil unserer Patienten gab als Unfallursache keinen spezifischen Grund an (47,75 %, n = 85). Bei den uns näher bekannten Unfallursachen ergab sich Folgendes:

82 % aller Unfälle ereigneten sich bei üblichen sportlichen oder zumindest bewegungsreichen Freizeitaktivitäten. Bei keinem unserer Patienten wurde ein Verkehrsunfall als Unfallursache angegeben, die Stürze aus großer Höhe wiesen als einzige Gruppe eine Ursache mit größerer Gewalteinwirkung auf. Dargestellt sind die Unfallursachen in Abbildung 8 und Tabelle 20.

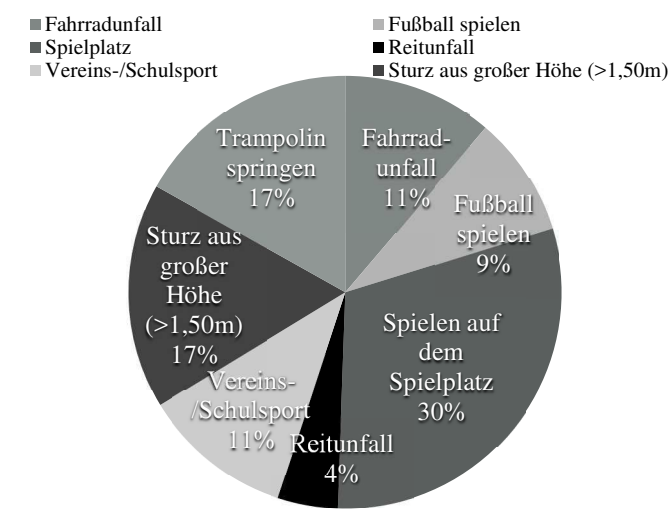


Abbildung 8: Dokumentierte Unfallursachen (n = 93).

Frakturtyp/Unfallursache	Typ II	Typ III	Typ IV
Sturz aus großer Höhe	2 (13,3 %)	2 (13,3 %)	11 (73,3 %)
Trampolin springen	4 (26,7 %)	4 (26,7 %)	7 (46,7 %)
Fahrradunfall	3 (25 %)	2 (16,7 %)	7 (58,3 %)
Reitunfall	1 (25 %)	1 (25 %)	2 (50 %)
Fußball spielen	2 (20 %)	2 (20 %)	6 (60 %)
Spielen auf dem Spielplatz	5 (18,5 %)	12 (44,4 %)	10 (37 %)
Vereins-/Schulsport	0 (0 %)	3 (30 %)	7 (70 %)
nicht näher bezeichnet	27	28	29

Tabelle 20: Dokumentierte Unfallursachen (n = 93) nach Frakturtyp.

Betrachtet man die Frakturursachen je nach Frakturtyp isoliert, zeigt sich eine Umverteilung zugunsten der Stürze aus großer Höhe. Während bei der Betrachtung aller Patienten 17 % ($n = 15$) eine Fraktur nach einem Sturz aus großer Höhe erlitten, sind davon 73,3% Patienten, die eine Fraktur vom Typ IV erlitten, ($n = 11$), jeweils 8% ($n=2$) Patienten mit Typ II oder Typ III Frakturen. Das Risiko, eine höhergradig dislozierte Fraktur nach einem Sturz auf den Arm aus großer Höhe zu erleiden, war somit für Patienten mit Typ – IV Frakturen um das 5,5-Fache erhöht. Nach Untersuchung durch den Fischer-Exakt Test ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied. ($p = 0.0320$).

Die Einteilung der Frakturtypen erfolgte nach der Klassifizierung der AO Pediatric Comprehensive Classification (siehe Tabelle 21).

	II	III	IV	Gesamt
Anzahl suprakondylärer Humerusfrakturen	43 (24,3 %)	52 (29,4 %)	82 (46,3 %)	177 (100 %)

Tabelle 21: Anzahl der Frakturtypen II, III und IV nach AO.

Hinsichtlich der Verteilung der Frakturtypen ($n = 177$) konnte eine Fraktur nicht klassifiziert werden, da sowohl präoperative Röntgenbilder fehlten als auch eine Klassifikation in der ärztlichen Dokumentation ausblieb. Die am häufigsten auftretende Frakturart war die Typ-IV-Fraktur in ca. 46 % der Fälle. Flexionsfrakturen lagen bei unserer Studie nicht vor. Es lagen drei (1,7 %) offene Frakturen vor (siehe Tabelle 22).

	offene Frakturen	geschlossene Frakturen	Gesamt
Anzahl suprakondyläre Humerusfrakturen	3 (1,7 %)	175 (98,3 %)	178 (100 %)

Tabelle 22: Anteil der offenen Frakturen.

Initiale Nervenverletzungen wurden bei 17 Patienten dokumentiert und in Tabelle 23 und Abbildung 9 dargestellt. Bei zwei Patienten waren Ausfälle sowohl des Nervus ulnaris als auch des Nervus medianus dokumentiert.

	Gesamt	N. medianus	N. ulnaris	N. radialis	keine initiale Nervenläsion
Anzahl der initialen Nervenläsionen	17 (9,6 %)	5 (2,8 %)	9 (5,1 %)	5 (2,8 %)	161 (90,4 %)

Tabelle 23: Dargestellt ist die Anzahl der initialen Nervenläsionen von Nervus medianus, ulnaris und radialis.

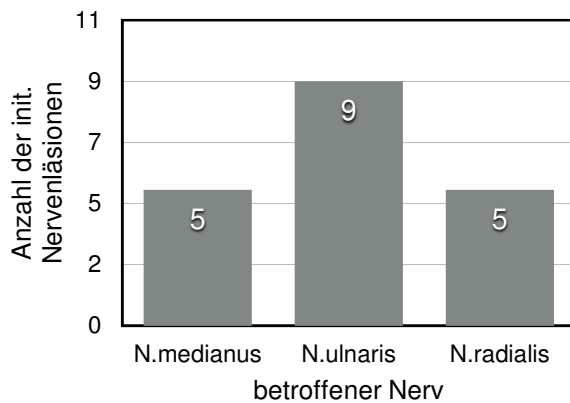


Abbildung 9: Anzahl der initialen Nervenläsionen von N. medianus, ulnaris und radialis.

Bei zwei Patienten kam es zu einem Pulsdefizit der A. radialis. Ein Patient mit Pulsdefizit hatte einen Abriss der A. brachialis in der Fossa cubitalis erlitten, was zu einer Embolie der distalen A. brachialis führte. Im zweiten Fall kam es zum Wiederauftauchen des Pulses nach Reposition. Neben den primären Gefäß- und Nervenläsionen erlitten drei Mädchen eine zusätzliche Fraktur am betroffenen Arm. Es handelte sich in allen Fällen um eine distale Unterarmfraktur.

Im Mittel warteten die Patienten zwölf Stunden und neun Minuten nach Vorstellung in der Ambulanz auf die operative Versorgung ihrer Fraktur (Median = fünf Stunden 23 Minuten). 53,9 % der Kinder wurden innerhalb der ersten sechs Stunden nach Eintreffen in der Ambulanz operativ versorgt. Bei 33,1 % erfolgte die Versorgung innerhalb von sechs bis 24 Stunden, bei 10,7 % der Kinder innerhalb von 24 bis 48 Stunden. Nur 1,7 % aller Kinder wurden nach zwei Tagen operiert.

Ein Patient konnte nicht in die Auswertung einbezogen werden, da sich der Unfall während eines Familienurlaubes ereignete und die Wartezeit aufgrund des Rückfluges aus dem Urlaubsland nicht verwendet werden kann.

Von den Frakturen wurden 50 % mit elastisch-stabiler intramedullärer Nagelung versorgt. Die mit Kirschnerdrahtspickung operativ versorgten Frakturen wurden zu 65,1 % offen und zu 34,9 % geschlossen reponiert. Die Verhältnisse sind in Tabelle 24 dargestellt.

Operations-methode	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese (offene Reposition)	Kirschnerdraht-Osteosynthese (geschlossene Reposition)	Gesamt
Anzahl Patienten	90 (50,6 %)	59 (33,1 %)	29 (16,3 %)	178 (100 %)

Tabelle 24: Verteilung der eingesetzten Behandlungsmethoden: ESIN, Kirschnerdraht-Osteosynthese mit offener oder geschlossener Reposition.

Bei 14 Patienten war intraoperativ eine Umstellung von ESIN auf eine Versorgung mit Kirschnerdrähten nötig. Der Umstieg erfolgte in einem Fall wegen eines vaskulären Defizits. In einem Fall lag es daran, dass die intramedulläre Nagelung den Frakturspalt nicht adäquat in physiologischer Ausrichtung fixieren konnte. Viermal wurde wegen radiologisch sichtbarer Rotationsfehler der Umstieg auf eine offene Versorgung mit Kirschnerdrähten vollzogen. In acht Fällen war zunächst eine Versorgung mit ESIN geplant, aber die geschlossene Reposition war nicht möglich. Deswegen musste auf ein Verfahren mit offener Reposition und somit auf das Verfahren der Kirschnerdraht-Osteosynthese umgestiegen werden.

Bei den Patienten, die während der Kirschnerdraht-Osteosynthese mit zwei Pins versorgt wurden, wurden die Drähte jeweils von ulnar und radial eingebracht. Bei den Patienten, die mit drei Drähten versorgt worden sind, wurden meistens (82,4 %) zwei Drähte von radial eingebracht. Die Anzahlen der implantierten Pins sind in Tabelle 25 dargestellt.

Anzahl der Pins	2	3	4	Gesamt
Anzahl Patienten	19 (22,9 %)	34 (40,1 %)	30 (37 %)	83 (100 %)

Tabelle 25: Dargestellt ist die Anzahl der implantierten Pins bei Kirschnerdraht-Osteosynthese.

In fünf Fällen wurde die Anzahl der Pins in den Operationsberichten nicht erwähnt.

Der Behandlungszeitraum bis zur Metallentfernung ist in Tabelle 26 dargestellt. Bis zur Metallentfernung behielten die Patienten mit ESIN ihre Implantate durchschnittlich 111 Tage. Bei Patienten mit Kirschnerdrähten wurden die Implantate durchschnittlich 42 Tage in situ belassen.

Operationsmethode/Tage bis zur Metallentfernung	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese
Mittelwert	111	42
Median	103,5	40
Minimum	31	21
Maximum	377	104

Tabelle 26: Dargestellt sind die Tage bis zur Metallentfernung bei Kirschnerdraht-Osteosynthese und ESIN.

Die Komplikationen, die bei der Behandlung von suprakondylären Humerusfrakturen in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals auftraten und in die Studie einbezogen worden sind, waren Bewegungseinschränkungen, sensible und motorische nervale Defizite, Varus- und Valgusfehlstellungen, Wundinfektionen und Perforationen des Osteosynthesematerials. Dem gegenüber gestellt wurde in Tabelle 27 die komplett gute Heilung ohne Komplikationen.

Alle Komplikationen, die zum Zeitpunkt der Freigabe nicht mehr vorhanden waren, werden im Folgenden als passagere Probleme bezeichnet.

komplett gute Heilung	Heilung nicht komplikationslos	Gesamt
113 (63,4 %)	65 (36,6 %)	178 (100 %)

Tabelle 27: Anzahl der Patienten mit nicht komplikationslos verlaufendem Heilungsprozess und Anzahl der Patienten mit komplett gut verlaufender Heilung

Postoperative nervale Defizite erlitten im Verlauf 12,4 % aller Patienten (siehe Tabelle 28). N. medianus, N. ulnaris und N. radialis waren dabei fast gleich häufig betroffen (siehe Abbildung 10). Es wurden bei der Auswertung nur bei diesen Patienten Läsionen als postoperativ eingestuft, die präoperativ keine Symptome einer Nervenläsion zeigten. Doppelnennungen waren bei multiplen Nervenläsionen möglich. Alle Läsionen waren, bis auf einen Fall von N.-ulnaris-Läsionen, vollständig reversibel. Die Patienten präsentierten sich klinisch im Mittel nach einer Zeitspanne von 162,5 Tagena. fünf Monaten unauffällig (Median 100,5 Tage). Der Unterschied bezüglich der Nachbehandlungszeit war statistisch nicht signifikant ($p = 0.4284$). Tabelle 29 zeigt die Nachbehandlungszeit der jeweiligen Nervenläsionen.

postoperative Nervenläsionen

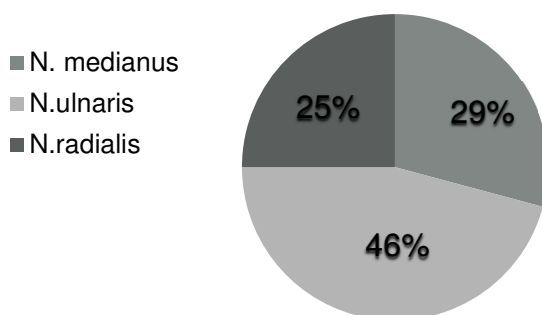


Abbildung 10: Anzahl der postoperativen Nervenläsionen von N. medianus, ulnaris und radialis.

	N. medianus	N. ulnaris	N. radialis	Summe
Anzahl postoperativer Nervenläsionen	7 (3,9 %)	11 (6,2 %)	6 (3,8 %)	22 (12,4 %)

Tabelle 28: Anzahl der postoperativen Nervenläsionen von Nervus medianus, ulnaris und radialis ($n = 178$).

betroffener Nerv/ Anzahl Nervenläsionen	Post-operative Läsion N. medianus	Post-operative Läsion N. ulnaris	Post-operative Läsion N. radialis	Keine Nervenläsion	Initiale Nervenläsion
Anzahl der Läsionen	11 (6,2%)	16 (9 %)	8 (4,5 %)	151 (84,8 %)	17 (9,5 %)
Mittlere Nachbehandlungszeit in Tagen	143,8	182,6	124,1	170	153,2
Median Nachbehandlungszeit in Tagen	124	97	96	105	114
Anzahl bestehender Läsionen bei Freigabe	0	1	0	0	1

Tabelle 29: Nachbehandlungszeiten der jeweiligen Nervenläsion.

	Patienten mit Bewegungseinschränkungen	Patienten ohne Bewegungseinschränkungen	Summe
Anzahl Patienten	46 (25,8 %)	132 (74,2 %)	178 (100 %)

Tabelle 30: Anteil der Patienten mit und ohne postoperative Bewegungseinschränkungen.

Zur statistischen Auswertung des Bewegungsausmaßes, der ROM (range of motion), wurde die Dokumentation nach der Neutral-Null-Methode genutzt. Insgesamt bestand bei 25,8% unserer Patienten im Verlauf der Behandlung eine Bewegungseinschränkung (siehe Tabelle 30). Im Rahmen der ersten Follow-up-Untersuchung wurden diese dokumentiert und nachuntersucht, bis das physiologische Bewegungsausmaß wiederhergestellt war.

In der nachfolgenden Tabelle 31 ist jeweils das initiale Höchstmaß der Bewegungseinschränkung zu Beginn der Nachsorge dokumentiert. Diese Bewegungseinschränkungen wurden in geringgradige ($\leq 15^\circ$) mittelgradige ($\leq 30^\circ$) und höhergradige ($> 30^\circ$) Einschränkungen der Flexion oder Extension unterteilt. 74,2 % (n = 132) der Kinder wiesen keine Bewegungseinschränkungen im Heilungsverlauf auf. Als Defizit des ROM (range of motion) wurden alle Bewegungseinschränkungen von über 10° gewertet. 91,3 % aller Bewegungseinschränkungen waren zum Zeitpunkt der Freigabe komplett rückläufig. Bei den vier Patienten, die zum Zeitpunkt der Freigabe noch Bewegungseinschränkungen aufzeigten, handelte es sich in zwei Fällen um eine geringe Resteinschränkung von 15° . Bei einem Patienten kam es aufgrund eines zweiten Sturzes ohne konsekutive klinische Vorstellung zu einer in Fehlstellung verheilten Fraktur, bei einem weiteren Patienten zu einem posttraumatisch deformierten Kondylenmassiv, ebenfalls durch einen erneuten Sturz auf den noch nicht vollständig verheilten, zuvor frakturierten Arm. Im Mittel betrug die Nachbeobachtungszeit bis zur kompletten Remission bei den komplett rückläufigen Bewegungseinschränkungen ca. 7,5 Monate (223,3 Tage; Median: 132 Tage). Die Nachbehandlungszeiten sind in Tabelle 32 dargestellt.

	Flexionseinschränkungen	Extensionseinschränkungen
geringe Einschränkung ($\leq 15^\circ$)	0 (0 %); [0 %]	3 (13,5 %); [1,7 %]
mittlere Einschränkung ($\leq 30^\circ$)	6 (18,8 %); [3,4 %]	6 (18,8 %); [3,4 %]
hochgradige Einschränkung ($> 30^\circ$)	26 (81,2 %); [14,6 %]	22 (3,9 %); [12,4 %]
Gesamt	32 (100 %); [17,9 %]	31 (100 %); [17,4 %]
Mittelwert	43°	44°
Median	45°	35°
Minimum	20°	10°
Maximum	90°	90°

Tabelle 31: Statistische Analyse der Patienten mit Flexions- und Extensionseinschränkung. Einteilung der Schwere der Bewegungseinschränkung nach Lindscheid und Wheeler (siehe Tabelle 8), $n = 178$; Prozentangabe runde Klammer: Anteil an Patienten mit jeweiliger Bewegungseinschränkung; Prozentangabe eckige Klammer: Anteil aller Patienten.

Bewegungs- einschränkung	Flexionseinschränkung	Extensionseinschränkung
Anzahl der Patienten mit jeweiliger Bewegungseinschränkung	32 (17,9 %)	31 (17,4 %)
Mittlere Dauer der Nachbehandlungszeit in Tagen	231,5	238,7
Median – Nachbehandlungszeit in Tagen	113	132
Anzahl bestehender Bewegungseinschränkungen bei Freigabe	2 (3,5 %)	3 (5,3 %)

Tabelle 32: Nachbehandlungszeiten bei Patienten mit Bewegungseinschränkungen.

Von allen Patienten ($n = 178$) erlitten 5,1 % im Verlauf der Nachbeobachtungszeit eine Valgus- oder Varusfehlstellung (siehe Tabelle 33). Die Valgusfehlstellung trat dabei fast genauso häufig auf wie die Varusfehlstellung. Die Spannbreite der Valgus-Fehlstellungen betrug 12° bis 30° , die der Varus-Fehlstellungen 10° bis 25° . Nur zwei der neun dokumentierten Fehlstellungen waren beim letzten Follow-up-Termin komplett rückläufig. Es handelte sich dabei um einen 14-jährigen Jungen mit Varusfehlstellung, der eine Fraktur vom Typ IV erlitten hatte und sich 14,5 Monate (437 Tage) nach dem Frakturereignis ohne Fehlstellung präsentierte, sowie um einen achtjährigen Jungen mit einer Valgusfehlstellung von 30° , der eine Fraktur vom Typ III erlitten hatte und nach 26 Monaten (769 Tagen) wieder eine korrekte Gelenkstellung präsentierte. Alle anderen Cubitus-valgus- und -varus-Deformationen waren bei Freigabe noch vorhanden. (Nachbeobachtungszeit im Mittel ca. zehn Monate bzw. 292 Tage, Median: 117 Tage). Die verbleibenden Varus- bzw. Valgusfehlstellungen waren jedoch zum Zeitpunkt der letzten Nachsorge nur noch von geringem Ausmaß ($\leq 15^\circ$) und gingen nicht mit Bewegungseinschränkungen einher.

Die betroffenen Patienten waren im Mittel sieben Jahre alt, vier Patienten erlitten eine Fraktur vom Typ IV, ein Patient eine Fraktur vom Typ III und zwei Patienten eine Fraktur vom Typ II nach Laer.

	Valgusfehlstellung	Varusfehlstellung	Gesamt
Anzahl der Patienten	4 (2,2 %)	5 (2,8 %)	9 (5,1 %)

Tabelle 33: Anzahl aller Patienten mit Valgus- und Varusfehlstellungen.

Vier der betroffenen Patienten litten zudem unter Extensions- und Flexionseinschränkungen. Drei Patienten wiesen komplizierte Verläufe auf. Eine Cubitus-varus-Deformität war bei einem Patienten aufgetreten, der am 18. postoperativen Tag eine erneute Osteosynthese mit Kirschnerdrähten benötigte, da es zu einer

Infektion des ESIN-Osteosynthesematerials mit konsekutiver Fettgewebsnekrose und Wundheilungsstörung kam. Der letzte durch die Familie in unserer Klinik wahrgenommene Termin war der 51. postoperative Tag. Ein achtjähriger Patient mit verbleibendem Cubitus valgus erlitt im Behandlungsverlauf (36. postoperativer Tag) eine Wundinfektion bei Hautperforation durch die implantierten Kirschnerdrähte, weshalb eine vorgezogene Metallentfernung (nach 5,5 Wochen) durchgeführt werden musste. Dieser Patient entwickelte auch einen Narbenwulst. Die Nachbeobachtungszeit erstreckte sich über ca. 2,5 Jahre (1009 Tage), beim letzten Wiedervorstellungstermin war noch ein Cubitus valgus von 15° vorhanden. Der dritte komplizierte Verlauf entstand durch ein Re-Trauma mit sekundärer Dislokation des ulnaren Humerusfragments durch mehrfachen erneuten Sturz auf den betroffenen Unterarm. Hier war die Familie nicht zum vereinbarten Follow-up-Termin erschienen, die letzte Dokumentation erfolgte am 54. postoperativen Tag. Die Begleiterkrankungen bei Cubitus varus-/valgus-Betroffenen sind in Tabelle 34 beschrieben.

Fehl- stellung	Anzahl Gesamt	Bewegungseinschränkung	Typ-IV-Fraktur	Infektion des Osteosynthesematerials	Erneutes Trauma	Frühzeitige Metallentfernung
Cubitus valgus/ Cubitus varus	9 (100 %)	4 (44,4 %)	4 (44,4 %)	1 (11 %)	1 (11 %)	1 (11 %)

Tabelle 34: Anzahl der Cubitus-valgus-/Cubitus-varus-Fälle in Bezug zur Krankengeschichte.

In Tabelle 35 sind die übrigen passageren Komplikationen beschrieben.

Komplikation	Anzahl Patienten
Perforation	7 (3,9 %)
Wundinfektion	5 (2,8 %)
Infektion des Osteosynthesematerials	1 (0,6 %)
hypertrophe Narbe	2 (1,1 %)

Tabelle 35: Anzahl der übrigen, passageren Komplikationen.

Fünf Patienten unserer Studie erlitten eine Wundinfektion, die eine prolongierte Behandlung erforderte, drei Kinder mussten zur antibiotischen Therapie erneut stationär aufgenommen werden. Zur Perforation der Kirschnerdrähte kam es in sieben Fällen. Die Perforationen gingen zum Teil mit Austritt von serösem Sekret oder lokal leicht entzündlichen Reaktionen einher, blieben in einigen Fällen jedoch auch völlig reizlos. In einem Fall ging die Perforation mit einer so starken Wundinfektion einher, dass eine vorgezogene Metallentfernung nötig war. Bei einem Patienten, dessen Bruch mit ESIN versorgt wurde, musste ebenfalls eine verfrühte Metallentfernung nach 51 Tagen erfolgen, da es zu einer Auflockerung des Osteosynthesematerials gekommen war.

Bei 5,6 % (n = 10) der in die Komplikationsanalyse einbezogenen Patienten bestanden zum Zeitpunkt der Freigabe noch Pathologien.

Drei Familien erschienen trotz persistierender Ausfallerscheinungen nicht zu den vereinbarten Wiedervorstellungsterminen.

In zwei dieser Fälle kam es zu einer sekundären Dislokation der Frakturfragmente bei erneutem Trauma, das als Ursache der Dislokation zu werten ist. In einem Fall kam es zur Dislokation des ulnaren Humerusfragmentes bei erneuten mehrfachen Stürzen auf den Unterarm zu unklarem Zeitpunkt. Beim letzten Follow-up-Termin dieses Patienten, 54 Tage nach dem ursächlichen Sturzereignis, war der oben beschriebene Cubitus varus und ein Flexionsdefizit von 90° vorhanden. Eine weitere Dislokation erfolgte ebenso wegen erneutem Trauma unklaren Zeitpunktes und verzögerter Wiedervorstellung. Es kam so zu einer in Fehlstellung verheilten Fraktur mit einem Flexions- und einem Extensionsdefizit von 60° (siehe auch Abb. 11), welches initial nicht vorhanden war. Die Nachbeobachtung erfolgte insgesamt über ca. ein Jahr (375 Tage), zu einem zuletzt vereinbarten Wiedervorstellungstermin erschien die Familie nicht.

Bei einem weiteren Fall wurde beim zuletzt dokumentierten Vorstellungstermin und bei fehlenden Reinnervationszeichen des N. ulnaris am 97. postoperativen Tag der Verdacht auf einen axonalen

Nervenschaden geäußert und eine operative Revision empfohlen. Auch diese Familie erschien nicht mehr zum vereinbarten Follow-up-Termin.

Eine weitere beim Follow-up noch bestehende N.-ulnaris-Läsion entstand auf dem Boden eines bereits präoperativ bestehenden Defizits. Es handelte sich hierbei um eine persistierende Parästhesie im Kleinfingerbereich sowie einen nur eingeschränkt möglichen Faustschluss mit Bewegungsdefiziten des dritten, vierten und fünften Fingers 461 Tage nach dem Frakturereignis. Die anderen, bei Freigabe noch bestehenden Pathologien entstanden trotz komplikationsloser Behandlung und adäquater Nachsorge. Es handelte sich hierbei zum einen um drei Fälle von persistierenden Bewegungseinschränkungen. In zwei der drei Fälle kam es zu einer geringgradigen Einschränkung ($\leq 15^\circ$) der Flexion, beziehungsweise Extension. In einem Fall war die Extension 5,5 Monate nach dem Frakturereignis noch um 40° eingeschränkt. Die Ursache der Bewegungseinschränkung stellte ein posttraumatisch deformiertes Kondylenmassiv dar, welches sich bei einer sechsjährigen Patientin nach Versorgung einer Typ III Fraktur via offener Reposition und Kirschnerdrahtosteosynthese gebildet hatte. Intraoperativ war bei persistierendem Rotationssporn nach Versorgung durch eine Elastisch-stabile-intramedulläre-Nagelung der Umstieg auf das Verfahren der Kirschnerdrahtosteosynthese erfolgt. Des weiteren blieben die oben beschriebenen sechs Fälle von Valgus- und Varusfehlstellungen zurück.

a)



b)



Abbildung 11: a) lateral + b) a.p.: männlich, 8 J., Z. n. Extensionsfraktur Typ IV links, Z. n. offener Reposition und Kirschnerdraht-Osteosynthese, Dislokation bei erneutem Trauma, deutliches Mehrwachstum des radialen Kondylus bei Minderwachstum der medialen Seite mit Hochstand des Epicondylus ulnaris, leichte Dorsalabweichung des distalen Fragmentes in der seitlichen Ebene, Beuge- und Streckdefizit: 60°

3.2 Statistische Auswertung

3.2.1 Alter und Frakturtyp

Hinsichtlich des Alters konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede der arithmetischen Mittelwerte der Altersverteilung in Bezug auf den Frakturtyp festgestellt werden ($p = 0.237$, siehe Tabelle 36).

Frakturtyp nach AO	II	III	IV	Gesamt
Anzahl Patienten	43 (24,3 %)	52 (29,4 %)	82 (46,3 %)	177 (100 %)
Mittelwert: Alter in Jahren	5,48	5,85	6,2	5,91
Median: Alter in Jahren	6	6	6	6

Tabelle 36: Dargestellt wird das Auftreten der Frakturtypen II bis IV nach AO in Bezug auf das Alter der Patienten ($n = 177$, $p = 0.237$).

Hinsichtlich der Verteilung der Frakturtypen muss bezüglich des Alters und im Folgenden $n = 177$ verwendet werden, da eine Fraktur nicht klassifiziert werden konnte.

3.2.2 Geschlecht und Frakturtyp

Hinsichtlich des Geschlechts konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf den Frakturtypus festgestellt werden ($p = 0.744$, siehe Tabelle 37).

Frakturtyp nach AO Anzahl Patienten	II	III	IV
Anzahl männliche Patienten	24 (56 %)	33 (63 %)	50 (61 %)
Anzahl weibliche Patienten	19 (44 %)	19 (37 %)	32 (39 %)
Gesamt	43 (100 %)	52 (100 %)	82 (100 %)

Tabelle 37: Dargestellt wird das Auftreten der Frakturtypen II bis IV nach AO in Bezug auf das Geschlecht der Patienten ($n = 177$, $p = 0.744$).

3.2.3 Operationsmethode und Frakturtyp

Für die weitere Komplikationsanalyse und den Vergleich der beiden Therapiemethoden ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese ist ebenfalls die Verteilung des Frakturtypus in Bezug auf die Operationsmethode untersucht worden (siehe Abbildung 12).

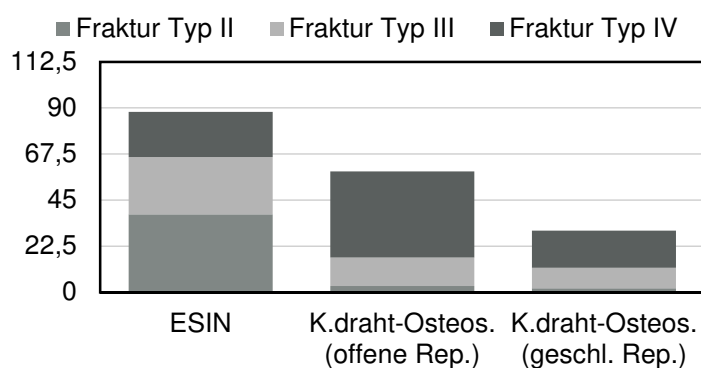


Abbildung 12: Dargestellt ist die Verteilung der Frakturtypen II bis IV nach AO in Bezug auf die gewählte Behandlungsmethode.

Nach Berechnung mit dem Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest besteht ein hochsignifikanter statistischer Zusammenhang zwischen dem Frakturtyp und der gewählten Therapiemethode (ESIN oder Kirschnerdraht-Osteosynthese) ($p < 0.001$), dargestellt in Tabelle 38. Werden nur die Operationen mit Kirschnerdraht-Osteosynthese berücksichtigt, lassen sich die in Tabelle 39 dargestellten Verhältnisse feststellen.

Frakturtyp nach AO/ Repositionsart	II	III	IV	Summe
offene Reposition	3 (5,1 %)	14 (23,7 %)	42 (71,2 %)	59 (100 %)
geschlossene Reposition	2 (6,9 %)	8 (27,6 %)	19 (65,5 %)	29 (100 %)

Tabelle 38: Dargestellt wird der Einsatz der verschiedenen Repositionsmethoden in Bezug auf die Frakturtypen II bis IV nach AO ($n = 88$, $p = 0.8537$).

Es bestand kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Frakturtyp und Repositionsart ($p = 0.8537$).

Frakturtyp nach AO/ Operations- methode	II	III	IV	Gesamt
ESIN	38 (43,2 %)	28 (31,8 %)	22 (25 %)	88 (100 %)
Kirschnerdraht- Osteosynthese (offene Reposition)	3 (5,1 %)	14 (23,7 %)	42 (71,2 %)	59 (100 %)
Kirschnerdraht- Osteosynthese (geschlossene Reposition)	2 (6,9 %)	8 (27,6 %)	19 (65,5 %)	29 (100 %)
Anzahl gesamt	43 (24,3 %)	52 (29,4 %)	82 (46,3 %)	177 (100 %)

Tabelle 39: Dargestellt wird der Einsatz der verschiedenen Behandlungsmethoden in Bezug auf die Frakturtypen II bis IV nach AO ($n = 177$, $p < 0.001$).

3.2.4 Behandlungszeitpunkt und Wartezeit bis zur Operation

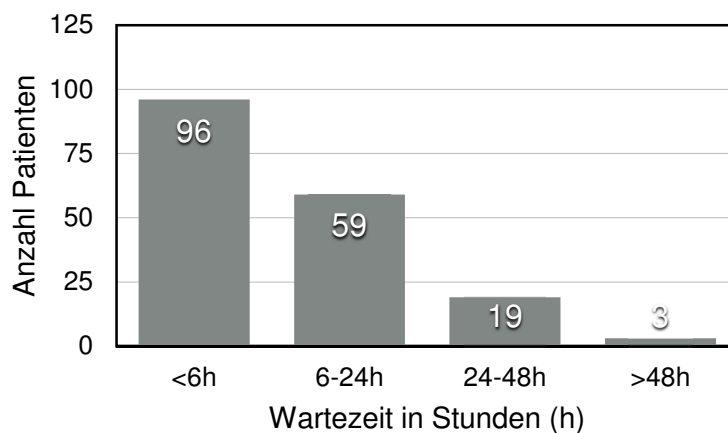


Abbildung 13: Wartezeit bis zur Operation in Stunden. Dargestellt ist die Anzahl der Patienten, die unter 6, 6–24, 24–48 und über 48 Stunden (h) warteten.

In Abbildung 13 ist die Anzahl der Patienten in Bezug auf die Wartezeit dargestellt. Bei der Auswertung mithilfe des Fisher-Exact-Testes bezüglich des Frakturtypus ergab sich ein hochsignifikanter Unterschied in Hinblick auf die Wartezeit in der Ambulanz ($p < 0.001$, siehe Abbildung 14). 75,6 % aller Frakturen vom Typ IV wurden in den ersten sechs Stunden nach Eintreffen in der Ambulanz operiert. Bei Typ-III-Frakturen waren es 44,2 %, bei Typ-II-Frakturen nur 25,5 %.

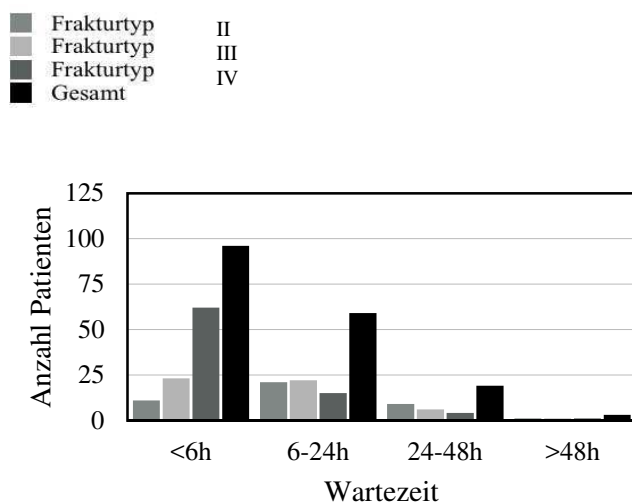


Abbildung 14: Wartezeit bis zur Operation. Dargestellt ist die Anzahl der Patienten, die unter 6, 6–24, 24–48 und über 48 Stunden (h) warteten, sortiert nach Frakturtyp nach AO ($n = 177$, $p < 0.001$). Es ergab sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied der arithmetischen Mittelwerte der Wartezeit in der Ambulanz ($p < 0.001$, siehe Tabelle 40 und Abb. 15).

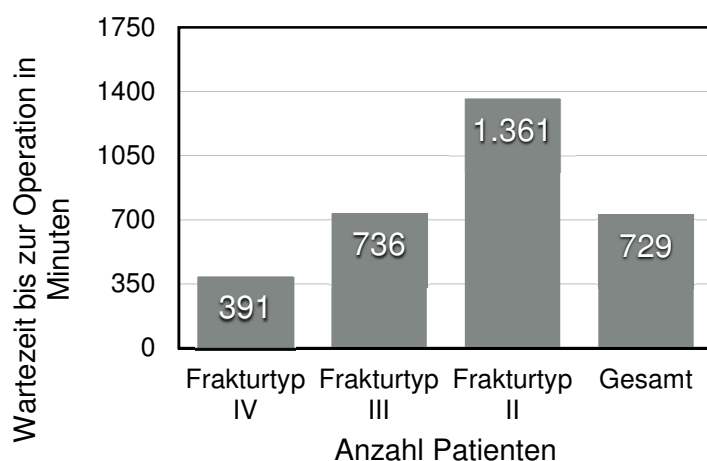


Abbildung 15: Wartezeit bis zur Operation in Minuten in Bezug auf den Frakturtyp II bis IV nach AO ($n = 177$, $p < 0.001$).

Frakturtyp nach AO/ Wartezeit in Minuten	Frakturtyp II	Frakturtyp III	Frakturtyp IV
Mittelwert	1361	736	391
Median	920	719	160

Tabelle 40: Dargestellt wird die Wartezeit bis zur Operation in Minuten in Bezug auf die Frakturtypen II bis IV nach AO ($n = 177$, $p < 0.001$).

44 % der Patienten unserer Studie wurden außerhalb der regulären Dienstzeiten operativ versorgt. Wann die Indikation zur Notfalloperation gestellt wurde, hing maßgeblich vom Frakturtyp ab. Nur Frakturen vom Typ IV wurden häufiger außerhalb der Dienstzeit operiert. Die Auswertung ergab einen signifikanten Unterschied bezüglich des Frakturtyps und des Zeitpunktes der Operation ($p < 0.001$, Tabelle 41).

Operationsbeginn / Frakturtyp nach AO	Außerhalb der regulären Dienstzeiten	Innerhalb der regulären Dienstzeiten	Summe
Frakturtyp II	10 (23,3 %)	33 (76,7 %)	43 (100 %)
Frakturtyp III	17 (32,7 %)	35 (67,3 %)	52 (100 %)
Frakturtyp IV	52 (63,4 %)	30 (36,6 %)	82 (100 %)
Summe	79 (44,4 %)	99 (55,6 %)	177 (100 %)

Tabelle 41: Dargestellt ist der Zeitpunkt der Operation in Bezug auf die Frakturtypen II bis IV nach AO (n = 177, p < 0.001).

3.2.5 Komplikationsanalyse

In Abbildung 16 ist zu sehen, dass der Anteil der komplett komplikationslosen Heilungsrate mit zunehmendem Alter deutlich sank. Nach Berechnung mit dem Fisher-Exact-Test bestand ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Auftreten von Komplikationen (p = 0.032, Tabelle 42).

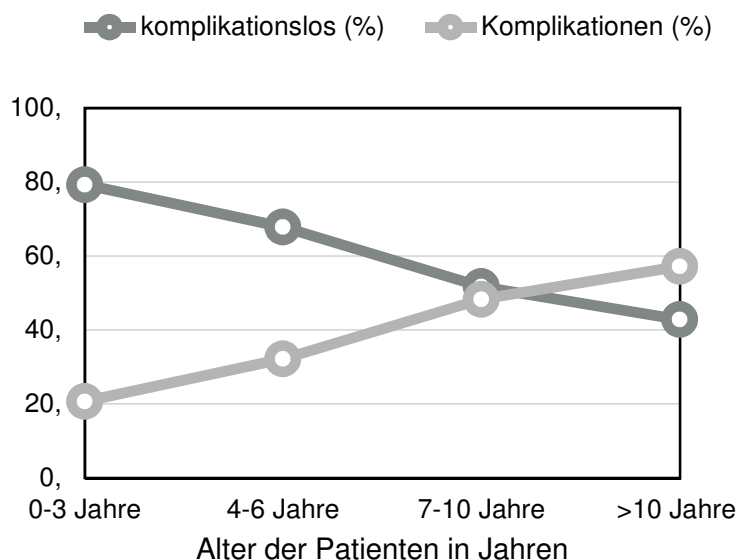


Abbildung 16: Anteil der jeweils komplikationslosen bzw. komplizierten Behandlungsverläufe in Prozent in Bezug auf das Alter der Patienten. Altersgruppen: 0–3, 4–6, 7–10, > 10 Jahre.

Alter bei Unfall in Jahren/Anzahl Patienten	0–3	4–6	7–10	> 10	Gesamt
komplett gute Heilung	23 (79,3 %)	57 (67,8 %)	30 (51,7 %)	3 (42,8 %)	113 (63,4 %)
Komplikationen gesamt	6 (20,7 %)	27 (32,2 %)	28 (48,3 %)	4 (57,2 %)	65 (36,6 %)
Gesamt	29 (100 %)	84 (100 %)	58 (100 %)	7 (100 %)	178 (100 %)

Tabelle 42: Dargestellt ist der Anteil der Patienten, deren Heilung komplikationslos bzw. kompliziert verlief in Bezug auf die jeweilige Altersgruppe. Altersgruppen: 0–3, 4–6, 7–10, > 10 Jahre (n = 178, p = 0.032).

Alter bei Unfall in Jahren/Anzahl Komplikationen	0–3	4–6	7–10	> 10	Gesamt
Initiale Nervenläsionen	0 (0 %)	7 (8,3 %)	10 (17,2 %)	0 (0 %)	17 (12,4 %)
Postoperative Nervenläsionen	2 (6,9 %)	7 (8,3 %)	11 (19 %)	2 (28,6 %)	22
Bewegungseinschränkungen	4 (13,8 %)	17 (20,2 %)	21 (36,2 %)	2 (28,6 %)	44 (24,7 %)
Valgus-/Varusfehlstellungen	0 (0 %)	3 (3,6 %)	4 (6,9 %)	2 (28,6 %)	9 (5 %)
Wundinfektionen	0 (0 %)	3 (3,6 %)	2 (3,4 %)	0 (0 %)	5 (2,8 %)
Gesamt	29 (100 %)	84 (100 %)	58 (100 %)	7 (100 %)	178 (100 %)

Tabelle 43: Dargestellt ist der Anteil der jeweiligen Komplikationen in Bezug auf die jeweilige Altersgruppe (Mehrfachnennung möglich) Altersgruppen: 0–3, 4–6, 7–10, > 10 Jahre (n = 178).

Die unter 3.1 beschriebenen Komplikationsarten sind in Tabelle 43 in Bezug auf das Alter der Patienten bei dem Unfall dargestellt. Bezüglich der Einzelauswertungen ergab sich nur bei den postoperativen Nervenläsionen ($p = 0.0312$) nach Berechnung mit dem Fisher-Exact-Test ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit dem Alter. Patienten, die älter als sechs Jahre waren, erlitten 2,5-fach häufiger eine postoperative Nervenläsion.

Im Folgenden sind die Verteilungen der verschiedenen Komplikationen in Bezug auf den Frakturtypus dargestellt. Der Anteil von Komplikationen ist bei Typ-IV-Frakturen signifikant höher. 54,9 % aller Patienten mit Typ-IV-Frakturen erleiden im Behandlungsverlauf eine Komplikation. Nach Berechnung mit dem Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest nach Pearson besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Frakturtyp und dem Auftreten von Komplikationen ($p = 0.001$, Tabelle 44). Das relative Risiko, eine Komplikation zu erleiden, ist bei Frakturen des Typus IV 2,04-fach erhöht gegenüber Typ-III-Frakturen und 1,97-fach gegenüber Typ-II-Frakturen.

	Frakturtyp II	Frakturtyp III	Frakturtyp IV	Gesamt
komplett gute Heilung	31 (72,1 %)	38 (73,1 %)	37 (45,1 %)	106 (59,9 %)
Komplikationen gesamt	12 (27,9 %)	14 (26,9 %)	45 (54,9 %)	71 (40,1 %)
Gesamt	43 (100 %)	52 (100 %)	82 (100 %)	177 (100 %)

Tabelle 44: Dargestellt ist der Anteil der komplikationslosen und komplizierten Heilung in Bezug auf den Frakturtyp nach AO (n = 177, $p = 0.001$).

In Tabelle 45 sind die in 3.1 beschriebenen einzelnen Komplikationsarten in Bezug auf den Frakturtyp dargestellt. Patienten mit Frakturen vom Typ IV wiesen signifikant häufiger bei Erstvorstellung eine initiale Nervenläsion ($p = 0.0105$) sowie im Behandlungsverlauf eine postoperative Nervenläsion ($p = 0.0237$) auf. Die Wahrscheinlichkeit, im Behandlungsverlauf eine Bewegungseinschränkung zu erleiden, war für Typ-IV-Frakturen nicht erhöht ($p = 0.0595$).

Frakturtyp/Anzahl Komplikationen	Frakturtyp II	Frakturtyp III	Frakturtyp IV	Gesamt
Initiale Nervenläsionen	0	4 (23,5 %)	13 (76,5 %)	17 (100 %)
Postoperative Nervenläsionen	0	6	16	22
Bewegungseinschränkungen	11 (23,9 %)	8 (17,4 %)	27 (58,7 %)	46 (100 %)
Valgus-/Varusfehlstellungen	2 (22,2 %)	2 (22,2 %)	5 (55,6 %)	9 (100 %)
Wundinfektionen	1 (20 %)	1 (20 %)	3 (60 %)	5 (100 %)
Gesamt	12 (27,9 %)	14 (26,9 %)	45 (54,9 %)	71 (100 %)

Tabelle 45: Dargestellt ist der Anteil der jeweiligen Komplikationen in Bezug auf den Frakturtyp nach AO (n = 177).

Im zeitlichen Verlauf waren fast alle Komplikationen rückläufig. Die einzelnen Verläufe sind in Tabelle 46 beschrieben.

	initiale Nerven- läsionen	post- operative Nerven- läsionen	Bewegungs- einschränkungen	Valgus- /Varus- fehlstellungen
Anzahl betroffener Patienten	17 (9,5 %)	22 (12,4 %)	48 (27 %)	9 (5,1 %)
Mittlere Nachbehandlungszeit in Tagen	153,2	162,6	216,1	361,1
Median Nachbehandlungszeit in Tagen	114	100,5	132	201
Anzahl bestehender Läsionen bei Freigabe	1 (0,6 %)	1 (0,6 %)	3 (1,7 %)	7 (3,9 %)

Tabelle 46: Dargestellt sind die Nachbehandlungszeiten in Bezug auf die jeweiligen Komplikationen.

Es bestand bei keiner Komplikation eine statistisch signifikante Verlängerung der Nachbehandlungszeit.

3.2.6 Das Auftreten von Komplikationen bei ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese

Operationsmethode	ESIN	Kirschnerdrahtosteosynthese	Summe
komplett gute Heilung	63 (70 %)	49 (55,6 %)	112 (62,9 %)

Operationsmethode	ESIN	Kirschnerdrahtosteosynthese	Summe
Auftreten von Komplikationen	27 (30 %)	39 (44,4 %)	66 (37,1 %)
Gesamt	90 (100 %)	88 (100 %)	178 (100 %)

Tabelle 47: Dargestellt ist der Anteil von komplikationslosen und komplizierten Heilungsverläufen in Bezug auf die gewählte Behandlungsmethode ($n = 178$, $p = 0.048$).

Im Vergleich ESIN/Kirschnerdraht-Osteosynthese ergab sich Folgendes: Nach Berechnung mit dem Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Komplikationen und der Therapiemethode ($p = 0.048$, Tabelle 47). Der Anteil von Komplikationen ist bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese höher. Vergleicht man die offene und geschlossene Reposition mit dem Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest, ist kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Komplikationen und der Art der Reposition festzustellen ($p = 0.1932$, Tabelle 48).

	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese, offene Reposition	Kirschnerdraht-Osteosynthese, geschlossene Reposition	Summe
komplett gute Heilung	63 (70 %)	30 (50,8 %)	19 (65,5 %)	112 (62,9 %)
Auftreten von Komplikationen	27 (30 %)	29 (49,2 %)	10 (34,5 %)	66 (37,1 %)
Gesamt	90 (100 %)	59 (100 %)	29 (100 %)	178 (100 %)

Tabelle 48: Dargestellt ist der Anteil von komplikationslosen und komplizierten Heilungsverläufen in Bezug auf die gewählte Repositionsmethode ($n = 178$, $p = 0.1932$).

Es wurde außerdem das Auftreten von Bewegungseinschränkungen bei den verschiedenen Behandlungsmethoden untersucht. Weder im Vergleich ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese ($p = 0.2643$, Tabelle 49) noch im Vergleich offene und geschlossene Reposition konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt werden ($p = 0.4352$, Tabelle 50).

Operationsmethode/Bewegungseinschränkungen	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese
Anzahl Patienten mit Bewegungseinschränkungen	20 (22,2 %)	26 (29,5 %)
Anzahl Patienten mit Flexionseinschränkung	15 (16,7 %)	17 (19,3 %)
Anzahl Patienten mit Extensionseinschränkung	12 (13,3 %)	20 (22,7 %)
Anzahl Patienten ohne Bewegungseinschränkungen	70 (77,8 %)	62 (70,5 %)
Gesamt	90 (100 %)	88 (100 %)

Tabelle 49: Dargestellt sind die postoperativen Bewegungseinschränkungen in Bezug auf die gewählte Behandlungsmethode ($n = 178$, $p = 0.2643$).

Repositionsmethode / Anzahl Patienten	Kirschnerdraht-Osteosynthese, offene Reposition	Kirschnerdraht-Osteosynthese, geschlossene Reposition
Anzahl Patienten mit Bewegungseinschränkungen	19 (32,2 %)	7 (24,1 %)
Anzahl Patienten ohne Bewegungseinschränkungen	40 (67,8 %)	22 (75,9 %)
Gesamt	59 (100 %)	29 (100 %)

Tabelle 50: Dargestellt sind die postoperativen Bewegungseinschränkungen in Bezug auf die gewählte Repositionsmethode ($n = 178$, $p = 0.4352$).

Ebenfalls wurde das Auftreten von postoperativen Nervenläsionen untersucht (Tabelle 51). Nach Berechnung mit dem Fisher-Exact-Test besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem postoperativen Auftreten von neuronalen Defiziten und der Wahl der Operationsmethode ($p = 0.0231$).

	postoperative Nervenläsion	Keine postoperative Nervenläsion
ESIN	6 (6,7 %)	84 (93,3 %)
Kirschnerdraht-Osteosynthese	16 (19,1 %)	72 (80,9 %)

Tabelle 51: Dargestellt sind die postoperativen Nervenläsionen in Bezug auf die gewählte Operationsmethode ($n = 178$, $p = 0.0231$).

Bezüglich der Repositionsmethode besteht nach Anwendung des Fisher-Exact-Testes ebenfalls ein statistisch signifikanter Zusammenhang (Tabelle 52).

	postoperative Nervenläsion	Keine postoperative Nervenläsion
geschlossene Reposition	14 (48,3 %)	15 (51,7 %)
offene Reposition	8 (13,6 %)	51 (86,4 %)

Tabelle 52: Dargestellt sind die postoperativen Nervenläsionen in Bezug auf die gewählte Repositionsmethode ($n = 178$, $p = 0.0012$).

Nach Auswertung mit dem Fisher-Exact-Test ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Auftretens postoperativer Nervenläsionen und der Anzahl der implantierten Pins bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese ($p = 0.221$, Tabelle 53).

Anzahl der Pins/ postoperative Nervenläsionen	2	3	4
postoperative Nervenläsion Gesamt	1 (5,3 %)	8 (23,5 %)	7 (23,4 %)
keine Nervenläsion	18 (94,7 %)	26 (76,5 %)	23 (76,6 %)
Anzahl Patienten Gesamt	19 (100 %)	34 (100 %)	30 (100 %)

Tabelle 53: Dargestellt sind postoperativ aufgetretene Läsionen in Bezug auf die implantierten Pins bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese ($n = 178$, $p = 0.221$).

3.2.7 Behandlungsdauer, stationärer Aufenthalt und Sportkarenz bei ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese

Bezüglich des stationären Aufenthaltes ergab sich nur in der Unterscheidung offener und geschlossener Reposition ein signifikanter Unterschied der arithmetischen Mittel ($p = 0.0032$, Tabelle 55). Die Auswertung erfolgte durch den t-Test für Mittelwertunterschiede. Die Länge des stationären Aufenthaltes in Bezug zur gewählten Osteosynthesemethode (siehe Tabelle 54) war nicht signifikant unterschiedlich.

Aufenthalt in Tagen	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese	Summe
Mittelwert	1,67	2,94	2,29
Median	1	3	2
Maximum	14	10	14
Minimum	0	0	0
Standardabweichung	1,7763	1,5855	1,7962

Tabelle 54: Dargestellt ist der stationäre Aufenthalt in Bezug zur gewählten Behandlungsmethode ($n = 178$, $p > 0.05$).

Aufenthalt in Tagen	Kirschnerdraht-Osteosynthese, offene Reposition	Kirschnerdraht-Osteosynthese, geschlossene Reposition
Mittelwert	3,25	2,29
Median	3	2
Maximum	10	4
Minimum	0	1
Standardabweichung	1,7621	0,7954

Tabelle 55: Dargestellt ist der stationäre Aufenthalt in Bezug zur gewählten Repositionsmethode ($n = 178$, $p = 0.0032$).

Die Länge der Behandlungsdauer wurde untersucht, um Unterschiede zwischen ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese zu detektieren. Ein statistisch signifikanter Unterschied ergab sich nur bei der Unterscheidung der offenen und geschlossenen Reposition ($p = 0.0427$, Tabelle 57). Die Länge der Behandlungsdauer in Bezug zur gewählten Osteosynthesemethode (siehe Tabelle 56) war nicht signifikant unterschiedlich.

Behandlungsdauer in Tagen	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese	Alle
Mittelwert	165,2	173,73	169,42
Median	116,5	79	105
Maximum	1272	1091	1272
Minimum	37	27	27
Standardabweichung	167,75	209,71	189,173

Tabelle 56: Dargestellt ist die Behandlungsdauer in Bezug zur gewählten Behandlungsmethode ($n = 178$).

Behandlungsdauer in Tagen	Kirschnerdraht- Osteosynthese, offene Reposition	Kirschnerdraht-Osteosynthese, geschlossene Reposition
Mittelwert	201,7	119,6
Median	81,5	57
Maximum	1091	748
Minimum	29	27
Standardabweichung	230,23	152,18

Tabelle 57: Dargestellt ist die Behandlungsdauer in Bezug zur gewählten Repositionsmethode (n = 178, p = 0.0427).

Des Weiteren wurde die Zeitspanne der Sportkarenz untersucht. Hier war ein statistisch signifikanter Zusammenhang zur Therapiemethode zu finden (p = < 0.01, Tabelle 58). Auch wurde ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen offener und geschlossener Reposition festgestellt (p = 0.0051, Tabelle 59).

Operationsmethode/Sportkarenz in Tagen	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese	Alle
Mittelwert	32,3	59	45,5
Median	28	53	35,5
Maximum	85	206	206
Minimum	25	24	24
Standardabweichung	10,8681	30,2055	26,2401

Tabelle 58: Dargestellt ist die Zeit der Sportkarenz in Bezug zur gewählten Behandlungsmethode (n = 178, p < 0.01).

Repositionsart/Sportkarenz in Tagen	Kirschnerdraht- Osteosynthese, offene Reposition	Kirschnerdraht- Osteosynthese, geschlossene Reposition
Mittelwert	64,8	47,3
Median	58	41
Maximum	206	103
Minimum	24	27
Standardabweichung	33,3239	18,8261

Tabelle 59: Dargestellt ist die Zeit der Sportkarenz in Bezug zur gewählten Repositionsmethode (n = 178, p = 0.0051).

3.2.8 OP-Zeitpunkt und Komplikationsrate

Beim Vergleich der Komplikationsrate von Typ-IV-Frakturen in Hinblick auf die Wartezeit nach Eintreffen in der Ambulanz war keine Signifikanz festzustellen (p = 1, Tabelle 60).

Anzahl Patienten mit Typ-IV- Frakturen	keine Komplikation	Komplikation	Gesamt
< 6 h nach Eintreffen in der Ambulanz operiert	31 (50 %)	31 (50 %)	62 (100 %)
> 6 h nach Eintreffen in der Ambulanz operiert	10 (50 %)	10 (50 %)	20 (100 %)

Tabelle 60: Dargestellt ist der komplikationslose bzw. komplizierte Behandlungsverlauf in Bezug zur Wartezeit bis zur Operation bei Typ-IV-Frakturen nach AO (n = 82, p = 1).

16 Patienten unseres Kollektivs mit Typ-IV-Frakturen wurden nach Eintreffen in der Ambulanz und Indikationsstellung am Folgetag operiert (siehe Tabelle 61).

Anzahl der Patienten mit Typ-IV-Frakturen	Operation am Folgetag	Operation am Aufnahmetag	Summe
keine Komplikation	8 (50 %)	32 (48,5 %)	37 (45,1 %)
Komplikation	8 (50 %)	34 (51,5 %)	45 (54,9 %)
Gesamt	16 (100 %)	66 (100 %)	82 (100 %)

Tabelle 61: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten, die nach durchgeführter Operation am Folgetag nach Indikationsstellung Komplikationen erlitten im Vergleich zu denen, die am Aufnahmetag operiert wurden ($n = 82$, $p = 1$).

Die Spanne der Wartezeit betrug hierbei zwölf Stunden und elf Minuten bis hin zu fünf Tagen, fünf Stunden und 15 Minuten. 50 % der Patienten erlitten eine Komplikation im Heilungsverlauf. Es ergab sich kein erhöhtes Risiko, eine Komplikation zu erleiden, bei Durchführung der Operation am Folgetag. Der Fisher-Exact-Test zeigte keinen signifikanten Unterschied ($p = 1$).

3.2.9 Häufigkeit und Auftreten der postoperativen N.-ulnaris-Läsion

In die statistische Auswertung, die die postoperative N.-ulnaris-Läsion betreffen, wurden alle Patienten einbezogen, bei denen eine operative Versorgung und die Nachuntersuchung im Dr. von Haunerschen Kinderspital erfolgten.

Bei der Untersuchung des Einflussfaktors des Frakturtyps (siehe Tabelle 62) ergab sich nach dem Fisher-Exact-Test kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen postoperativer N.-ulnaris-Läsion und dem Frakturtyp ($p = 0.088$).

Frakturtyp nach AO/ Anzahl Patienten	II	III	IV	Summe
Patienten mit postoperativer N.- ulnaris-Läsion	0 (0 %)	3 (5,8 %)	8 (9,8 %)	11 (6,2 %)
Patienten ohne postoperative N.- ulnaris-Läsion	43 (100 %)	49 (94,2 %)	74 (90,2 %)	166 (93,8 %)
Gesamt	43 (100 %)	52 (100 %)	82 (100 %)	177 (100 %)

Tabelle 62: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten mit postoperativer N.-ulnaris-Läsion in Bezug zum Frakturtyp II bis IV nach AO ($n = 177$, $p = 0.088$).

Nach Berechnung mit dem Fisher-Exact-Test bestand jedoch ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von postoperativen N.-ulnaris-Läsionen und der gewählten Therapiemethode ($p = 0.0262$, Tabelle 63).

Operationsmethode /Anzahl Patienten	ESIN	Kirschnerdraht-Osteosynthese	Summe
Patienten mit postoperativer N. ulnaris Läsion	2 (2,2 %)	9 (10,2 %)	11 (6,2 %)
Patienten ohne postoperative N.- ulnaris-Läsion	88 (97,8 %)	79 (89,8 %)	167 (93,8 %)
Gesamt	90 (100 %)	88 (100 %)	178 (100 %)

Tabelle 63: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten mit postoperativer N.-ulnaris-Läsion in Bezug zur Behandlungsmethode ($n = 178$, $p = 0.0262$).

Des Weiteren wurde das Auftreten einer postoperativen N.-ulnaris-Läsion in Zusammenhang mit der Repositionsart untersucht (siehe Tabelle 64). Es bestand ein statistisch hochsignifikanter Zusammenhang ($p = 0.0005$).

Repositionsmethode/Anzahl Patienten	Kirschnerdraht-Osteosynthese, offene Reposition	Kirschnerdraht-Osteosynthese, geschlossene Reposition	Summe
Patienten mit postoperativer N.-ulnaris-Läsion	1 (1,7 %)	8 (27,6 %)	9 (10,2 %)
Patienten ohne postoperative N.-ulnaris-Läsion	58 (98,3 %)	21 (72,4 %)	79 (89,8 %)
Gesamt	59 (100 %)	29 (100 %)	88 (100 %)

Tabelle 64: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten mit postoperativer N.-ulnaris-Läsion in Bezug zur Repositionsmethode ($n = 88$, $p = <0.0001$).

Eine offene Reposition birgt demnach ein geringeres Risiko einer N.-ulnaris-Läsion. Das relative Risiko, eine N.-ulnaris-Läsion bei einer geschlossenen Reposition zu erleiden, war in unserer Studie 20,4-fach erhöht gegenüber dem Risiko, eine solche Nervenläsion bei einer offenen Reposition zu erleiden.

Die Nachbehandlungszeit wurde durch das Vorhandensein einer postoperativen N.-ulnaris-Läsion nicht signifikant verlängert ($p = 0.4176$).

4 Diskussion

Epidemiologie

Alter

Das Durchschnittsalter zum Unfallzeitpunkt lag mit 5,91 Jahren (Median: sechs Jahre), wie in der zurate gezogenen Literatur, im Zeitraum zwischen dem fünften und sechsten Lebensjahr (2, 7, 11, 22, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 34, 42, 49, 99, 120, 122). Der jüngste Patient war zum Zeitpunkt des Traumas ein Jahr und neun Monate, der älteste Patient 15 Jahre und sieben Monate alt. Etwa ein Drittel der Patienten (30,7 %) waren bei Frakturereignis fünf oder sechs Jahre alt, die Gruppe der über zehnjährigen Patienten (7,9 %) war, wie bei Weinberg 2002 (25) und Barr 2014 (24) die kleinste Altersgruppe.

Geschlecht

Jungen waren in allen Altersgruppen (0–3, 4–6, 7–10 und > 10 Jahre) etwa 1,5-mal häufiger betroffen als Mädchen. 60,6 % unserer Patienten waren männlich. Auch diese Ergebnisse entsprechen anderen Auswertungen (2, 7, 13, 33, 35, 44, 45, 49, 89, 111, 118) und spiegeln das generell erhöhte Risiko für männliche Patienten, wieder im Kindesalter eine Fraktur der langen Röhrenknochen zu erleiden (5, 17, 43). Einige neuere Auswertungen ergeben andere Verhältnisse. Eine multizentrische Auswertung (n = 63.348) aus dem Jahr 2018 aus den USA (99) zeigte keinen Unterschied bezüglich der Geschlechterverteilung. Nur 52 % der betroffenen Patienten mit suprakondylären Humerusfrakturen waren Jungen. Ebenso zeigte eine deutsche multizentrische Auswertung (n = 886) von Weinberg 2002 (25) einen Anteil von männlichen Patienten von nur 53 %. Auch bei Barr 2014 (24) waren nur 53 % der Patienten männlich, bei Khoshbin 2014 (28) nur 50,5 % und bei Kronner 2013 (30) sogar nur 49,3 %. Houshian 2001 (6) registrierte ebenfalls mehr weibliche Patienten (M:W = 1:1,3), Kaiser 2008 (117) sogar 61,8 % weibliche Patienten. Dem steht jedoch ebenso eine neuere epidemiologische Untersuchung aus Nordindien von Anjum 2017 (89) mit einem Anteil von 59,7 % männlichen Patienten (n = 263) und eine Untersuchung von Balakumar 2012 (63) aus Südindien mit einem Anteil von 72,2 % männlichen Patienten gegenüber.

Jahreszeitliche Besonderheiten

Das Auftreten von suprakondylären Humerusfrakturen, über das Jahr hinweg betrachtet, zeigte wie bei Young 2010 (45), Barr 2014 (24), Khoshbin 2014 (28), Loder 2012 (120) und Holt 2018 (99) einen Trend zu den Sommermonaten hin. 70,2 % aller Unfälle ereigneten sich im Frühling oder Sommer, nur 10,6 % der Frakturereignisse geschahen während der Wintermonate, 19,1 % während der Herbstmonate. Somit war in unserer Studie das Risiko, eine suprakondyläre Humerusfraktur im Zeitraum von März bis August des jeweiligen Jahres zu erleiden, um das 2,3-fache erhöht. Bei Khoshbin bestand ein 2,7-fach erhöhtes Risiko ($p < 0.0001$), eine suprakondyläre Humerusfraktur im Sommer zu erleiden, bei Holt ereignete sich der Unfall bei 60 % aller Patienten in den Monaten von April bis September ($p < 0.001$), bei Young 2010 (45) bei 81 % der Patienten in den Monaten von März bis Oktober. Eine weitere Studie von Sinikumpu 2017 (88) beschreibt außerdem, unabhängig von der Jahreszeit, eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, eine suprakondyläre Humerusfraktur an trockenen ($p = 0.011$) sowie an warmen Tagen ($p = 0.008$) zu erleiden. Das Risiko, eine Fraktur zu erleiden, war in hiesiger Untersuchung an sonnigen Tagen im Gegensatz zu regnerischen Tagen um das 3,5-Fache erhöht und an Tagen mit Temperaturen zwischen 15–24,9 °C um das 2,6-Fache im Vergleich zu kälteren Tagen erhöht.

Unfallursachen

Bei den bekannten Unfallursachen (50 % der Patienten gaben in unserer Studie keinen spezifischen Grund als Unfallursache an) nannten 82 % (n = 73) der Patienten einen Unfall bei sportlichen oder bewegungsreichen Freizeitaktivitäten. Die am häufigsten genannten Unfallursachen waren: Unfall auf Spielplatz (30 %), Trampolinspringen (17 %), Sturz aus > 1,50 m Höhe (17 %), Fahrradunfall (11 %) und Vereins- bzw. Schulsport (11 %). Bis auf den Vereins- bzw. Schulsport handelte es sich bei allen Aktivitäten um solche, die bei wärmeren Temperaturen und in der Freizeit häufiger ausgeübt werden. Auch bei Barr 2014 (24) ergaben sich ähnliche Ergebnisse. 38 % aller Frakturen ereigneten sich während des Spielens auf einem Spielplatz, in der Hälfte der Fälle wurde ein Trampolin benutzt. Des Weiteren war in hiesiger Studie

eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit festgestellt worden, eine suprakondyläre Humerusfraktur während der Schulferien zu erleiden. Die wöchentliche Inzidenz war während der Schulferien (1,16 Unfallereignisse pro Woche) deutlich gegenüber der Inzidenz während der Schulzeit (0,6 Unfallereignisse pro Woche) erhöht ($p = 0.0005$). In unserer Studie handelte es sich ebenso meist um Freizeitunfälle. 75 % der Unfallereignisse geschahen in der Freizeit, 25 % waren Schul- oder Wegeunfälle. Auch bei Weinberg 2002 (25) wurden von 71 %, bei Young 2010 (45) von 81 % der Patienten ein Frakturereignis im Rahmen einer Freizeitaktivität angegeben. Bei Loder 2012 (120) ereigneten sich 68,3 % aller Unfälle am schulfreien Nachmittag und 28,6 % davon wiederum auf einem Spielplatz, 9,6 % beim Trampolinspringen. Krauss 2005 (1) berichtete von besonders häufigen ellenbogennahen Humerusfrakturen bei Verletzungen im häuslichen Bereich und ebenso auf Spielplätzen.

Eine Fraktur durch einen Fahrradsturz erlitten in unserer Kohorte 11 %, bei Young 2010 (45) 7,2 % und bei Barr 2014 (24) 4 % der Patienten. Ein Reitunfall als Ursache wurde in unserer Studie bei 4 %, bei Young 2010 (45) bei 2,9 % und bei Barr 2014 (24) bei 5 % aller Patienten verzeichnet. In keinem Fall wurde in unserer Studie ein Verkehrsunfall als Unfallursache angegeben, während bei Memisoglu 2011 (41) 22 %, bei Weinberg 2002 (25) 6 % und bei Young 2010 (45) 5 % aller suprakondylären Humerusfrakturen auf einen Verkehrsunfall zurückzuführen waren. Bei Anjum 2017 (89) wurde bei einer Untersuchung in ländlichem Einzugsgebiet (Maharishi Markandeshwar Institute of Medical Sciences North India) als häufigste Unfallursache der Sturz aus großer Höhe von einer Leiter oder vom Hausdach detektiert. Auch Young 2010 (45) gab mit einem Anteil von 58,3 % als häufigste Ursache den Sturz aus großer Höhe an, ebenso Fransworth 1998 (115) mit einem Anteil von 70 %. Memisoglu 2011 (41) beschrieb einen Sturz aus großer Höhe bei 62 % seiner Patienten als Unfallursache. Bei Barr 2014 (24) waren 38 % aller Stürze auf dem Spielplatz Stürze von Klettergerüsten. Der Anteil von Stürzen aus großer Höhe betrug bei unserer Untersuchung 17 %.

Während somit Verkehrs- und Reitunfälle einen geringen Anteil der Frakturursachen darstellten, scheint das größte Risiko der Sturz aus größerer Höhe im Rahmen einer Freizeitaktivität sowie das Spielen auf einem Spielplatz, im Speziellen das Trampolinspringen, darzustellen. Bei 73,3 % aller Patienten, die einen Sturz aus großer Höhe und konsekutiv eine suprakondyläre Humerusfraktur erlitten, wurde im Nachhinein eine Typ-IV-Fraktur diagnostiziert. Die Wahrscheinlichkeit nach einem Sturz aus großer Höhe eine höhergradig dislozierte Fraktur zu erleiden war um das 5,5-Fache erhöht ($p = 0.0320$).

Frakturtyp

Der am häufigsten auftretende Frakturtyp unserer Studie war die Typ-IV-Fraktur nach Laer in ca. 46 % der Fälle. Frakturen vom Typ II und Typ III traten fast gleich häufig auf (Typ II 24,3 %, Typ III 29,4 %). Bei Barr 2014 (24) waren 48,8 %, bei Barron-Torres 2015 (13) 59,1 % der operativ versorgten Fälle höhergradig dislozierte Frakturen vom Gartland-Typ III, bei Anjum 2017 (89) waren 54,4 % aller Fälle Gartland-Typ-III-Frakturen. Weinberg verzeichnete einen Anteil an operativ versorgten Frakturen von 54,4 % Typ-IV-Frakturen nach Laer.

Der Anteil offener Frakturen betrug in unserer Auswertung 1,7 % ($n = 3$). Bei Weinberg 2002 (25), Khoshbin 2014 (28) und Holt 2018 (99) waren 1 % aller registrierten Frakturen offene Frakturen, bei Anjum 2017 (89) lag der Anteil bei 3,4 %.

Kein Patient unserer Kohorte erlitt eine Flexionsfraktur. Somit lag die Rate an Flexionsfrakturen unter anderen zuvor veröffentlichten Ergebnissen. Bei Flynn 2017 (100) waren 3,4 % aller Frakturen Flexionsfrakturen, bei Anjum 2017 (89) waren es 2 %, bei Ahaoiza 2014 (118) 2,1 %, bei Bales 2010 (123) 2,1 % und bei Barr 2014 (24) 2,5 %. Eine Metaanalyse von Babal 2010 (27) zeigte ein erhöhtes Durchschnittsalter für Patienten mit Flexionsfrakturen (7,49 Jahre).

In Bezug auf das Geschlecht konnte in unserer Studie kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des Frakturtypus ($p = 0.744$) festgestellt werden. Bei Barron-Torres (13) war ebenso kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern beobachtet worden. Bei Holt 2018 (99) wurde ein für männliche Patienten höheres Risiko, eine offene Fraktur zu erleiden, beschrieben ($p < 0.001$). In unserer Studie waren zwei der drei Patienten, die eine offene Fraktur erlitten, männlich. Ebenso wurde in der Untersuchung durch Bolt 2018 (99) ein höherer Altersdurchschnitt bei Patienten mit offenen Frakturen ermittelt ($p < 0.0001$). Die Patienten, die in unserer Studie eine offene Fraktur erlitten ($n = 3$), waren im Durchschnitt 4,77 Jahre alt. Für eine statistische Analyse war der Anteil von Patienten mit offenen Frakturen in unserer Studie zu klein.

Weinberg 2002 (25) beschrieb ein höheres Risiko, mit steigendem Alter eine Fraktur mit höherem Dislokationsgrad zu erleiden. Eine ähnliche Verteilung in Bezug auf das Alter wie bei Weinberg 2002 (25) konnten wir nicht beobachten. Es konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang bezüglich des Alters und des Frakturtypus festgestellt werden ($p = 0.237$). Bei Gera 2017 (2) zeigte sich ebenso kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Dislokationsgrad nach Gartland und dem Alter der Patienten ($p = 1$). Jedoch zeigte sich in hiesiger Studie ein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf das Alter der Patienten und dem Auftreten von Trümmerfrakturen bei suprakondylären Humerusfrakturen ($p = 0.002$). Patienten, die älter als sieben Jahre zum Unfallzeitpunkt waren, erlitten zu 58 % eine Trümmerfraktur, Patienten, die jünger als sieben Jahre gewesen waren, nur zu 27,9 %.

Frakturseite

Der linke Arm war häufiger betroffen als der rechte (62 % linksseitige, 38 % rechtsseitige Fraktur). Das Überwiegen der linksseitigen Fraktur war ebenso bei den zu vergleichenden Untersuchungen der Fall.

Studie	Suprakondyläre Humerusfraktur des linken Armes	Suprakondyläre Humerusfraktur des rechten Armes
Eigene Studie	62 %	38 %
Barr 2014 (24)	59 %	41 %
Weinberg 2002 (25)	57 %	43 %
Madjar-Simic 2012 (34)	57 %	43 %
Zionts 2009 (44)	52 %	48 %
Young 2010 (45)	57 %	43 %
Anjum 2017 (89)	65 %	35 %
Barron-Torres 2015 (13)	57 %	43 %
Maity 2012 (35)	83 %	17 %
Memisoglu 2011 (41)	69 %	31 %
Balakumar 2012 (63)	74 %	26 %

Tabelle 65: Dargestellt ist die Verteilung der Frakturseite (Rechter Arm/ Linker Arm) bei Barr 2014 (24), Weinberg 2002 (25), Madjar-Simic 2012 (34), Zionts 2009 (44), Young 2010 (45), Anjum 2017 (89), Barron-Torres 2015 (13), Maity 2012 (35), Memisoglu 2011 (41) und Balakumar 2012 (63).

Im Durchschnitt waren 62,9% der suprakondylären Frakturen, Frakturen des rechten Armes (range: 52-83%) und 37,1% Frakturen des linken Armes (range: 17-48%). In keiner Studie war der linke Arm häufiger betroffen.

Initiale neurovaskuläre Komplikationen

Bei 9,6 % ($n=17$) der Patienten unserer Untersuchung wurde eine initiale Nervenläsion dokumentiert, wobei der N. ulnaris mit einem Anteil von 52,9 % der Fälle am häufigsten betroffen war. Die betroffenen Patienten waren durchschnittlich 7,2 Jahre alt, 85,71 % ($n = 6$) hatten zuvor eine Fraktur Typ IV nach Laer erlitten. Der Anteil der Patienten mit primären Nervenläsionen deckte sich weitestgehend mit anderen Studien, wobei in unserer Studie als einziges Beispiel der N. ulnaris am häufigsten betroffen war.

Bei Anjum 2017 (89) erlitten 4,9 % der Patienten eine initiale Nervenläsion, hier war der N. medianus mit einem Anteil von 53,8 % am häufigsten betroffen. Bei Babal 2010 (27) war ebenfalls der N. medianus am häufigsten betroffen (34,1 %), es erlitten insgesamt 11,3 % der Patienten eine primär-traumatisch bedingte Nervenläsion. Bei Bales 2010 (123) waren 5,5 % der Patienten betroffen, in hiesiger Studie handelte es sich am häufigsten um eine N.-radialis-Läsion. 3,8 % der Patienten erlitten bei Barr 2014 (24) eine initiale Nervenläsion, 6,25 % bei Gera 2017 (2), 5,1 % bei Weinberg 2002 (25), 12 % bei Garg 2014 (68), 5,6 % bei Aslan 2014 (121). Bei Joiner 2014 (26) und Tomaszewski 2017 (108) waren 16 % der Patienten betroffen, am häufigsten zeigten sich auch hier Verletzungen des N. medianus. Bei Krusche-Mandl 2012 (31) erlitten 10,1 % der Patienten eine initiale Nervenläsion, auch hier zeigte sich am häufigsten ein N.-medianus-Ausfall.

Einige Autoren beschreiben im Speziellen eine erhöhte Inzidenz von initialen Nervenläsionen bei älteren Patienten. Bolt 2018 (99) beschrieb eine signifikant höhere Rate an primären neurovaskulären Begleitverletzungen bei älteren Patienten ($p < 0.0001$). Krusche-Mandl 2012 (31) zeigte ebenso eine statistisch signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für ältere Patienten auf, eine primäre Nervenläsion zu erleiden ($p = 0.02$). Mit jedem zunehmenden Lebensjahr stieg laut dieser Studie die Wahrscheinlichkeit einer primären Nervenverletzung um 3,5 %. Gera 2017 (2) konnte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen über und unter siebenjährigen Patienten aufzeigen ($p = 0.046$).

11,8 % der über Siebenjährigen in hiesiger Studie wiesen eine initiale Nervenläsion auf, bei den unter Siebenjährigen waren es nur 1,6 %. In unserer Untersuchung wiesen 15,4 % der über Siebenjährigen eine initiale Nervenläsion auf und 6,2 % der unter Siebenjährigen. Der Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant ($p = 0.0624$). Wang 2017 (111) wies ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko für ältere ($p = 0.048$) und übergewichtige ($p = 0.009$) Kinder auf, initial eine neurovaskuläre Komplikation zu erleiden.

Wang 2017 (111) und Houshian 2001 (6) betrachteten außerdem isoliert höhergradig dislozierte suprakondyläre Humerusfrakturen (Gartland-Typ III) und stellten hierbei eine Rate von initialen Nervenausfällen bei 13,5 % (111) bzw. 43 % (6) der Patienten fest. 15,85 % ($n = 17$) aller Patienten unserer Studie mit Frakturen vom Typ IV wiesen ebenfalls eine initiale Nervenläsion auf. Der Anteil war jedoch nicht statistisch signifikant ($p = 0.0105$) gegenüber den niedriger dislozierten Frakturen erhöht.

Postoperativ blieb bei sieben (41,2 %) der betroffenen Patienten die Läsion zunächst bestehen. Ein Patient mit initialer N.-ulnaris-Läsion, die zu Beginn durch motorische Einschränkungen (inkompletter Faustschluss durch Bewegungsdefizit von D3–D5) klinisch auffällig war, litt bei Freigabe noch unter intermittierenden Parästhesien des Kleinfingers, während sich die motorischen Einschränkungen zurückgebildet hatten. Alle anderen Patienten wiesen nach Abschluss der Nachbehandlung keine neuronalen Defizite mehr auf. Die Nachbehandlungszeit (Mittelwert 153 Tage, Median 111 Tage) unterschied sich nicht signifikant von der Nachbehandlungszeit der Patienten ohne initiale Nervenläsion. Auch bei Houshian 2001 (6) war nach 42 Tagen Nachbehandlungszeit keine der primär klinisch erschienenen Nervenläsionen noch nachweisbar. Bei Krusche-Mandl 2010 (31) waren sieben von acht initialen Nervenläsionen postoperativ im Mittel nach 5,5 Monaten (Range: 0–728 Tage) regredient. Bei einer persistierenden N.-radialis-Läsion war eine operative Revision notwendig, die eine Wiederherstellung der vollständigen motorischen und sensiblen Funktionen innerhalb von vier Wochen nach dem Revisionseingriff ermöglichte.

In unserer Studie erlitten 1,3 % ($n = 2$) der Patienten eine begleitende Gefäßläsion, die sich klinisch durch ein Pulsdefizit der A. radialis zeigte. Bei einem Patienten handelte es sich zusätzlich um eine Thrombosierung der A. brachialis, sodass in gleicher Sitzung eine Revision der A. brachialis in der Ellenbeuge erfolgte. Drei Patienten erlitten zusätzlich eine Fraktur am betroffenen Arm. Es handelte sich in allen Fällen um eine distale Unterarmfraktur. Alle Patienten, bei denen eine begleitende Gefäßläsion oder eine Begleitfraktur festgestellt wurde, hatten auch eine suprakondyläre Humerusfraktur vom Typ IV nach Laer erlitten.

Bei Tomaszewski 2017 (108) hatten 7,7 % ($n = 17$) aller Patienten initial eine vaskuläre Komplikation erlitten. Bei 15 Patienten kam es zu einer Reperfusion der betroffenen Arterien nach Durchführen der Reposition. Bei zwei Patienten musste eine Revisionsoperation der A. brachialis bei Embolie der Arterie durchgeführt werden. Langzeitfolgen wurden nicht beobachtet. Bei Garg 2014 (68) zeigte sich bei 6 % ($n = 54$) aller Patienten mit Gartland-Typ-III-Frakturen ein Pulsdefizit der A. radialis. Fünf der betroffenen Patienten erhielten eine operative Revision. Krusche-Mandl 2012 (31) beschrieb eine Rate von 5,1 % ($n = 4$) betroffener Patienten mit Pulsdefizit.

4.1 Komplikationsanalyse

4.1.1 Allgemeine Komplikationsanalyse

Die Komplikationsrate im Behandlungsverlauf der suprakondylären Humerusfraktur wird je nach Literatur mit einem Anteil von 6,2 % bis 13 % angegeben (31, 32, 41, 121).

Die Komplikationen, die bei der Behandlung von suprakondylären Humerusfrakturen in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals auftraten und in unserer Studie zusammengefasst wurden, waren Bewegungseinschränkungen, initiale und postoperative nervale Defizite, Varus- und Valgusfehlstellungen, Wundinfektionen, Perforationen des Osteosynthesematerials und kosmetisch auffälligen Narben. Somit traten bei 36,6 % der Patienten Komplikationen im Behandlungsverlauf auf.

Der Anteil von Komplikationen insgesamt war bei Typ-IV-Frakturen signifikant höher ($p = 0.001$) als bei allen anderen Frakturtypen. 54,9 % aller Patienten mit Typ-IV-Frakturen erlitten im Behandlungsverlauf eine Komplikation.

Die Patienten unserer Studie wurden im Mittel 169,4 Tage nachbetreut (Median 105, Range: 27–1.272). Bei Lin-Guo 2018 (57) und Aksakal 2013 (122) betrug die Nachbeobachtungszeit drei bis 29,5 Monate bzw. 25,9 Monate. Bei Asla 2014 (121) betrug die Nachbeobachtungszeit im Durchschnitt 14,4 Monate. In anderen Untersuchungen kam es zu noch längeren Nachbehandlungszeiten. Wang 2017 (111) führte Nachuntersuchungen im Mittel bis zu 38,2 Monate nach dem Unfallereignis fort, bei Khoshbin 2014 (28) wurden die Patienten im Mittel noch sechs Jahre nach dem Unfallereignis weiter betreut.

Die von uns verzeichneten Komplikationen waren fast ausnahmslos (94,4 %), wie auch in der Literatur (5, 10, 19, 49) beschrieben, von passagerer Natur und nach einer Nachbeobachtungszeit von im Durchschnitt 6,8 Monaten (Median: 117 Tage, Range: 38–1.091) nicht mehr nachweisbar.

Die früher häufiger dokumentierte, heute selten gewordene Volkmann-Kontraktur (8, 11, 81) trat in unserer Kohorte nicht auf. Das in Kapitel 1.3.1.4 beschriebene, befürchtete „Korkenzieherphänomen“ (15, 19) bei mit ESIN versorgten Frakturen trat in unserer Analyse ebenfalls nicht auf.

Alter der Patienten

Im Rahmen der Komplikationsanalyse stellten wir zunächst fest, dass der Anteil der komplett komplikationslosen Heilungsrate mit zunehmendem Alter deutlich sank. Es bestand ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Auftreten von Komplikationen im Behandlungsverlauf ($p = 0.032$). Während nur 20,7 % der unter Dreijährigen eine Komplikation im Behandlungsverlauf erlitten, waren hiervon bei den Vier- bis Sechsjährigen schon 32,2 %, bei den Sieben- bis Zehnjährigen schon 48,3 % und bei den über Zehnjährigen 57,2 % der Patienten betroffen.

Die bei Bolt 2018 (99) und Krusche-Mandl 2012 (31) speziell signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für das Auftreten initialer neurovaskulärer Komplikationen bei älteren Patienten konnte in unserer Untersuchung nicht bestätigt werden ($p = 0,1174$). Das Durchschnittsalter der Patienten mit initialen neurovaskulären Komplikationen lag in unserer Studie bei 7,5 Jahren. Auch erlitten ältere Patienten nicht signifikant häufiger Frakturen mit höherem Dislokationsgrad ($p = 0,237$). Dies war bei Weinberg 2002 (25) beschrieben worden.

Bei Aksakal 2013 (122) wurde bei älteren Patienten mit höhergradig dislozierten Frakturen (Gartland III) signifikant häufiger eine offene Reposition durchgeführt ($p < 0,05$) als bei jüngeren Patienten. Auch dies war bei unserer Patientenklientel nicht der Fall ($p = 0.1371$).

Lediglich postoperative Läsionen traten bei älteren Patienten (Alter \geq sieben Jahre) unserer Studie signifikant häufiger auf ($p = 0,0312$).

Bewegungseinschränkungen im Behandlungsverlauf

Die funktionelle, für den Patienten im Alltag merkbare Einschränkung der Bewegung beschreibt Weinberg 2002 (25) in 17,4 % der Fälle. In unserer Kohorte wiesen 25,8 % ($n = 46$) der Kinder initial Bewegungseinschränkungen im Heilungsverlauf auf.

In einer Nachuntersuchung von Eberl 2011 (23) erreichten ca. drei Jahre nach der operativen Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur bei mit ESIN versorgten Frakturen 91 % der betroffenen Patienten ein exzellentes Ergebnis und 9 % ein gutes Ergebnis nach dem Lindscheid-Wheeler-Score. Bei Patienten, die eine Kirschnerdraht-Osteosynthese erhielten, erreichten 92 % ein exzellentes und 8 % ein gutes Ergebnis. Bei Zionts 2009 (44) war die volle Beweglichkeit im Vergleich zum kontralateralen Ellenbogen in der sechsten postoperativen Woche zu 72 % wiederhergestellt, nach 4,3 Monaten bereits bei 98 % der Patienten. Schäffer 2007 (7) beschrieb bei einer ausschließlich mit ESIN versorgten Patientenkohorte eine vollständig seitengleiche Bewegung im Ellenbogengelenk nach fünf Monaten bei 100 % der betroffenen und zum Wiedervorstellungstermin erschienenen Patienten.

Über 90 % (91,3 %) aller Bewegungseinschränkungen in unserer Studie waren, wie bei Eberl 2011 (23), zum Zeitpunkt der Freigabe komplett rückläufig. Im Mittel betrug die Nachbeobachtungszeit und somit die Dauer bis zur kompletten Remission bei Patienten mit Bewegungseinschränkungen ca. 7,5 Monate (Mittelwert: 223,3 Tage, Median: 132 Tage). Bei Patienten, die sowohl eine Flexions- als auch Extensionseinschränkung erlitten, betrug die Nachbeobachtungszeit bei unserer Studie im Mittel neun Monate (Mittelwert: 275 Tage, Median: 113 Tage). War nur ein Freiheitsgrad eingeschränkt, belief sich die Nachbeobachtungszeit bis zur vollständigen Remission auf 6,1 Monate (Mittelwert: 187 Tage, Median: 141 Tage).

Bei einer Unterscheidung bezüglich der Operationsmethode zeigte sich in unserer Studie kein Unterschied. Sowohl bei mit ESIN versorgten Frakturen als auch bei Frakturen, die mit einer Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgt wurden, erlitten 25,8% der Patienten eine Flexions- oder Extensionseinschränkung. Auch die Repositionsmethode hatte keinen Einfluss auf die postoperative Entwicklung der Bewegungsfreiheit ($p = 0.4352$). Dies war ebenso bei Aksakal 2013 (122) der Fall. Durch eine offene Reposition versorgte Frakturen zeigten in der Nachbeobachtung keine Unterschiede bezüglich der Bewegungseinschränkungen.

Patienten mit Bewegungseinschränkungen waren im Mittel etwas älter als der Gesamtdurchschnitt (6,5 Jahre) und hatten zuvor öfter als der Gesamtdurchschnitt eine höhergradig dislozierte Fraktur erlitten (57,4 % Typ-IV-Frakturen). Diese Unterschiede waren jedoch nicht statistisch signifikant ($p = 0.1226$; $p = 0.1779$).

Bei Kronner 2013 (30), der in seiner Studie ausschließlich Frakturen vom Typ III nach Gartland untersuchte, erlitten im Verlauf 41 % aller Patienten eine Bewegungseinschränkung.

Die Nachbehandlungszeit ($p = 0.0226$) und die Dauer des stationären Aufenthaltes ($p = 0.0039$) war bei Patienten mit Bewegungseinschränkungen signifikant verlängert.

Cubitus valgus/varus

In unserer Kohorte erlitten 5,1 % ($n=9$) aller Patienten im Verlauf eine Valgus- oder Varusfehlstellung. Die Valgusfehlstellung ($n=4$) trat bei unseren Patienten fast genauso häufig auf wie die Varusfehlstellung ($n=5$). Bei Turgut 2016 (39) trat bei 4,1 % ($n = 29$) der Patienten und signifikant häufiger ($p < 0.001$) bei Frakturen vom Typ III und IV nach Laer ein Cubitus varus im Behandlungsverlauf auf. Bei Weinberg 2002 (25) wurde bei 4 % ($n = 26$) der Patienten eine Cubitus-varus- und bei 3 % ($n = 22$) aller Patienten eine Cubitus-valgus-Fehlstellung verzeichnet. Aslan 2014 (121) diagnostizierte bei 9,3 % der Patienten eine Cubitus-varus-Deformation.

Die betroffenen Patienten unserer Studie ($n=9$) waren im Schnitt acht Jahre alt und größtenteils männlich (77,8 %). Hinsichtlich des Frakturtypus und der Operationsmethode zeigten sich in unserer Studie keine Auffälligkeiten. Fünf Patienten erhielten eine Versorgung via Kirschnerdraht-Osteosynthese, vier via ESIN. Bei circa der Hälfte der betroffenen Patienten war zusätzlich eine Bewegungseinschränkung zu verzeichnen, neuronale Dysfunktionen traten nicht auf.

Zwei der sieben nachbeobachteten Fälle von Varus- und Valgusfehlstellungen bildeten sich in der Beobachtungsphase komplett zurück. Zwei Familien erschienen nicht zu den vereinbarten Wiedervorstellungsterminen.

Zwei weitere Patienten, bei denen die Varus- bzw. Valgusfehlstellung nicht im Nachbeobachtungsverlauf rückläufig war, wiesen komplizierte Verläufe auf. Bei einem acht Jahre alten Patienten, welcher zuvor eine Typ IV Fraktur erlitten hatte, wurde eine vorgezogene Metallentfernung am 40. postoperativen Tag auf Grund einer Wundinfektion und Hautperforation der Kirschnerdrähte durchgeführt. Es bestand bei Freigabe, nach einer Nachbehandlungszeit von 33,1 Monaten noch ein Cubitus valgus von 15°. Auf Grund einer ausgeprägten Fettgewebsnekrose und Infektion der ESIN-Implantate wurde bei einem fünf Jahre alten Patienten, welcher zuvor eine Typ II Fraktur erlitten hatte, eine Revisions-OP durch eine Kirschnerdrahtosteosynthese am 18. postoperativen Tag durchgeführt. Beim letzten Wiedervorstellungstermin bestand bei diesem Patienten noch ein Cubitus varus von 15°. Die Nachbeobachtungszeit betrug bei diesem Patienten jedoch nur 1,7 Monate.

Im Mittel betrug die Nachbeobachtungszeit bei Patienten mit persistierenden Varus- oder Valgusfehlstellungen 9,6 Monate (292 Tage, range: 51 - 1009 Tage).

Alle weiteren zum Freigabezeitpunkt noch verbliebenen Varus- bzw. Valgusfehlstellungen gingen nicht mit Bewegungseinschränkungen einher und zeigten nur noch ein geringes Ausmaß ($\leq 15^\circ$).

Migration und Infektion des Osteosynthesematerials

Bei sieben Patienten (3,4%) unserer Studie kam es zu einer Perforation des Osteosynthesematerials durch die Haut, in zwei Fällen einhergehend mit Wundinfektionen. In zwei weiteren Fällen wurde aufgrund der Migration des Osteosynthesematerials eine verfrühte Metallentfernung durchgeführt. Bei Weinberg 2002 (25) erlitten 4,5 % ($n = 17$) der Patienten eine Wundinfektion, bei Aslan 2014 (121) 7,4 %, bei Turgut 2016 (39) 7,3%. In unserer Studie waren 2,8% ($n=5$) Patienten betroffen. Vier von fünf Patienten hatten zuvor eine Versorgung via Kirschnerdrahtosteosynthese erhalten. Der Unterschied bezüglich der Operationsmethode war nicht statistisch signifikant ($p = 0,2082$). Auch die Repositionsmethode hatte keinen Einfluss auf das Auftreten von Wundinfektionen ($p=0,3041$). Das Alter der betroffenen Patienten betrug im Mittel 6,2 Jahre und lag somit im Durchschnitt.

Bei Turgut 2016 (39) zeigte sich eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit ($p < 0,001$) für Patienten mit höhergradig dislozierten Frakturen, eine Pin-Infektion zu erleiden. In unserer Studie waren Patienten mit höhergradig dislozierten Frakturen nicht signifikant häufiger betroffen. ($p=0,6628$).

Bei Eberl 2011 (23) waren sieben Patienten von einer Revisionsoperation betroffen. In drei Fällen nach Kirschnerdraht-Osteosynthese aufgrund einer inkorrekten Reposition, bei vier Fällen nach ESIN aufgrund von inkorrekt platzierten intramedullären Nägeln. In unserer Studie kam es nur in einem Fall zu einer Revisionsoperation auf Grund einer Infektion des ESIN-Osteosynthesematerials.

Iatrogene Nervenläsionen

Die Rate von postoperativ neu aufgetretenen Nervenläsionen betrug in unserer Studie 12,4 % ($n = 22$). Das Auftreten von postoperativen Nervenausfällen war statistisch unabhängig von der Anzahl der implantierten Pins bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese ($p = 0,221$). Signifikant häufiger traten jedoch postoperative Nervenläsionen bei älteren Patienten ($p = 0,0312$), bei Frakturen vom Typ IV nach Laer ($p = 0,0237$), bei Patienten, die eine Kirschnerdraht-Osteosynthese erhalten hatten ($p = 0,0231$) und bei solchen, deren Fraktur geschlossen reponiert wurde ($p = 0,0012$) auf.

Die operative Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur durch die von medial eingebrachten Kirschnerdrähte steht seit längerer Zeit im Verdacht iatrogene Nervenläsionen, besonders die iatrogene N.-ulnaris-Läsion zu provozieren (68, 95). In einigen Studien treten iatrogene N.-ulnaris-Läsionen bei mit Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgten Frakturen in bis zu 15 % der Fälle auf (23). Die Gesamtinzidenz der sekundären N.-ulnaris-Läsionen betrug bei Lyons 1998 (115) und Naik 2017 (114) 6–7 %, bei Turgut 2016 (39) 8,8 %, bei Guner 2013 (119) 3,3 % nach Versorgung der suprakondylären Humerusfrakturen mit Kirschnerdraht-Osteosynthese. Elf Patienten (6,2 %) unserer Kohorte erlitten eine postoperative N.-ulnaris-

Läsion, davon erhielten neun Patienten eine operative Versorgung via gekreuzter Kirschnerdraht-Osteosynthese.

Eine Metaanalyse (n = 1.303) von Babal 2010 (27) verzeichnete eine Rate von iatrogenen Nervenläsionen von 3,9 %. In hiesiger Studie wurde zwischen rein lateraler und medialer Implantation der Kirschnerdrähte unterschieden. Das Risiko, eine postoperative N.-ulnaris- oder N.-medianus-Läsion nach medialer Pin-Implantation zu erleiden, war signifikant erhöht.

Bei einer prospektiven Studie von Memisoglu 2011 (41) zeigte sich ebenfalls ein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich iatrogenen Nervenläsionen ($p < 0,05$). Während 9 % der Patienten hiesiger Studie, die eine gekreuzte Kirschnerdraht-Osteosynthese erhalten hatten, eine iatrogene N.-ulnaris-Läsion erlitten, war bei jenen, die eine rein laterale Osteosynthese erhielten, keine iatrogene Nervenläsion aufgetreten. Auch eine Metaanalyse von Na 2018 (52) konnte einen statistisch signifikanten Unterschied zugunsten der rein lateralen Osteosynthesetechnik nachweisen ($p < 0.0001$, n = 2.222). Iatrogene Läsionen des N. ulnaris traten in hiesiger Studie bei 0,5 % (n = 6) der Patienten auf, die eine rein laterale Osteosynthese erhielten, und bei 4,9 % (n = 50) der Patienten, deren Fraktur durch eine gekreuzte Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgt wurden. Woratanarat 2012 (47) wies ein 4,3-fach erhöhtes Risiko für die gekreuzte Kirschnerdraht-Osteosynthese nach, eine iatrogene N.-ulnaris-Läsion zu verursachen. Bei Slobogean 2010 (48) erlitt jeder 28. Patient, der eine gekreuzte Kirschnerdraht-Osteosynthese erhielt, eine iatrogene N.-ulnaris-Läsion. Der Unterschied zur rein lateralen Osteosynthese war ebenfalls signifikant erhöht ($p = 0.035$). Auch bei Patriota 2017 (113) war das Risiko, eine iatrogene N.-ulnaris-Läsion zu erleiden, bei der gekreuzten Kirschnerdraht-Osteosynthese gegenüber der rein lateralen Implantation signifikant erhöht ($p = 0.03$).

Bei Maity 2012 (35) zeigte sich in einer prospektiven Studie (n = 160) kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich iatrogenen Läsionen bei rein lateraler und gekreuzter Kirschnerdraht-Osteosynthese. Hinsichtlich postoperativer Komplikationen wie Bewegungseinschränkungen, Fehlstellungen oder Infektionen des Osteosynthesematerials konnte bei Maity 2012 (35) jedoch auch kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Auch Memisoglu 2011 (41) untersuchte Unterschiede hinsichtlich der postoperativen Stabilitätseinbußen, Infektionen des Osteosynthesematerials und postoperativer Bewegungseinschränkungen bei rein lateraler Kirschnerdrahtosteosynthese. Ein Unterschied konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden. Jene Komplikation, die diese Methode mit sich bringen soll, das „Wandern“ der Drähte, das die Redislokationsrate erhöht (63, 112), wurde in hiesigen Studien somit nicht nachgewiesen.

Eine Metaanalyse von Na 2018 (52) untersuchte ebenfalls das Outcome von Patienten mit von medial und lateral eingebrachten Kirschnerdrähten und kam zu einem anderen Ergebnis. Das jeweilige klinische Endergebnis wurde in hiesiger Studie nach den Flynn-Kriterien gegenübergestellt. Es zeigte sich eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für ein exzellentes Endergebnis bei gekreuzter Kirschnerdrahtosteosynthese ($p = 0.03$).

Eberl 2011 (23) untersuchte den Anteil iatrogenen Nervenläsionen bei ESIN-Nagelungen gegenüber mit Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgten Frakturen. Dieser lag bei mit ESIN versorgten Frakturen im signifikant niedrigeren Bereich ($p < 0.001$). Betroffen waren bei mit ESIN versorgten Patienten 0,5 % (n = 1) aller Fälle, bei den mit Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgten Patienten 15 % (n = 27). In unserer Patientenkohorte untersuchten wir das Auftreten von postoperativen N.-ulnaris-Läsionen ebenso in Hinblick auf die Behandlungs- und die Repositionsmethode.

Bei der Untersuchung der in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals operierten Patienten ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von postoperativen N.-ulnaris-Läsionen und der gewählten Therapiemethode ($p = 0.0262$). Patienten, deren Fraktur mit einer elastisch-stabilen intramedullären Nagelung versorgt wurden, waren signifikant weniger gefährdet, eine postoperative N.-ulnaris-Läsion zu entwickeln ($p = 0.0315$). Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass es einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen dem per se komplikationsträchtigeren Frakturtyp IV nach Laer und der gewählten Operationsmethode gibt ($p < 0.001$).

Beim Vergleich der offenen und geschlossenen Reposition war in unserem Patientenkollektiv jedoch kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Frakturtyp und der Art der Reposition festzustellen ($p = 0.8537$). Somit beeinflusste laut unseren Daten der Dislokationsgrad nicht die Wahl der

Repositionsmethode. Wir konnten so das Auftreten von postoperativen N.-ulnaris-Läsionen hinsichtlich der Repositionsmethode untersuchen, da der Dislokationsgrad als Confounder ausgeschlossen wurde.

Es konnte in weiteren Untersuchungen ein statistisch hochsignifikanter Zusammenhang zwischen der Repositionsart und dem Auftreten von postoperativen N.-ulnaris-Läsionen gezeigt werden ($p = <0.0001$). Das relative Risiko, eine N.-ulnaris-Läsion bei einer geschlossenen Reposition zu erleiden, war 20,4-fach erhöht gegenüber dem Risiko bei einer offen durchgeführten Reposition. Bei der offen durchgeführten Reposition war nur ein Fall von postoperativer N.-ulnaris-Läsion aufgetreten, bei der geschlossenen Reposition die restlichen neun Fälle.

Es ist somit davon auszugehen, dass durch eine offene Reposition am ehesten durch das Anschlingen und somit Schonen des N. ulnaris (21) bei Präparation unter Sicht das Risiko einer postoperativen N.-ulnaris-Läsion vermindert werden kann. Aufgrund des „blinden“ Einbringens des Kirschnerdrahtes von ulnar bei geschlossenen Repositionen ist immer die Verletzungsmöglichkeit des Nervus ulnaris gegeben (33).

Alle postoperativ neu aufgetretenen Läsionen waren, bis auf einen Fall, vollständig reversibel. Die Patienten präsentierten sich klinisch im Mittel nach einer Zeitspanne von 5,5 Monaten (162,5 Tagen) unauffällig. Bei Eberl 2011 (23) waren die iatrogenen N.-ulnaris-Läsionen bereits nach 9,3 Wochen komplett regredient (Range: 6–36 Wochen), bei Turgut 2016 (39) nach 2,5 Monaten, bei Kaiser 2008 (117) nach sechs Monaten, bei Guner 2013 (119) zeigten sich alle Ausfallerscheinungen nach acht Monaten rückläufig.

Eine operative Revision war in keinem Fall notwendig, wurde jedoch in einem Fall bei persistierender Ausfallerscheinung empfohlen. Die Weiterbehandlung erfolgte nicht in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals.

Wartezeit bis zur Operation

Patienten unserer Studie wurden im Mittel zwölf Stunden und neun Minuten nach Eintreffen in der Kinderchirurgischen Ambulanz operiert (Median: fünf Stunden und 23 Minuten). Wir untersuchten die Wartezeit bezüglich des Frakturtyps. Es ergab sich ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte der Wartezeit in der Ambulanz ($p = <0.001$). Frakturen vom Typ IV wurden im Durchschnitt bereits nach 6,5 Stunden chirurgisch versorgt, Typ-III-Frakturen nach 12,3 Stunden und Frakturen vom Typ II nach 22,7 Stunden. Ebenso untersuchten wir die Anzahl von Frakturen, die innerhalb der ersten sechs Stunden versorgt wurden, und stellten sie den Fällen gegenüber, die nach einer längeren Zeitspanne versorgt wurden. Es ergab sich erneut ein signifikanter Unterschied ($p < 0.001$) in Hinblick auf Typ-IV-Frakturen. 75,6 % aller Frakturen vom Typ IV wurden in den ersten sechs Stunden nach Eintreffen in der Ambulanz operiert. Bei Typ-III-Frakturen waren es 44,2 %, bei Typ-II-Frakturen nur 25,5 %. Bei Bales 2010 (123) wurden 78,6% aller Patienten erst nach einer Zeitspanne von 21 Stunden, im Mittel nach 51,9 Stunden versorgt. Patienten welche eine Fraktur vom Typ III nach Gartland erlitten hatten wurden im Mittel nach 19 Stunden versorgt ($p = 0,00001$).

Nur Frakturen vom Typ IV wurden in unserer Studie häufiger außerhalb der Dienstzeit (17:00 bis 08:00 Uhr) operiert. Die Auswertung ergab einen signifikanten Unterschied bezüglich des Frakturtypus und des Zeitpunktes der Operation ($p = < 0.001$). 16 Patienten unseres Kollektivs mit Typ-IV-Frakturen wurden nach Eintreffen in der Ambulanz und Indikationsstellung nicht in der Dienstzeit, sondern während der regulären Arbeitszeit am Folgetag operiert. Wir untersuchten hiernach die Komplikationsrate bei am Aufnahmetag und am Folgetag operierten Patienten. 50 % der Typ-IV-Frakturen, die nach einer längeren Zeitspanne am Folgetag operiert wurden, erlitten eine Komplikation im Heilungsverlauf. Diese Rate an perioperativen Komplikationen unterschied sich nicht signifikant von der insgesamt vorkommenden Komplikationsrate bei Typ-IV-Frakturen (54,9 %, $p = 1$).

Kronner et al. stellten 2013 (30) die Frage, ob eine verzögerte Einleitung der Operation eine offene Reposition wahrscheinlicher mache. Die verzögerte Behandlung wurde definiert als Zeitspanne von über zwölf Stunden nach Erscheinen in der chirurgischen Ambulanz bis zur definitiven chirurgischen Versorgung. 7,4 % der direkt chirurgisch versorgten Frakturen vom Typ III nach Gartland erhielten eine offene Reposition, 13,2 % der am Folgetag chirurgisch versorgten Frakturen. Der Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant ($p = 0.371$). Ebenso ergab sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Operationsdauer ($p = 0.481$). Im postoperativen Verlauf zeigte sich des Weiteren kein Unterschied hinsichtlich der postoperativen Komplikationen. Bei Kwiatkowska 2018 (124) zeigte sich ebenfalls keine

Relation zwischen dem klinischen Outcome und der Wartezeit bis zur Operation bei Gartland-Typ-III-Frakturen. In unserer Studie wurden Patienten mit Typ IV Frakturen, welche nach einer Wartezeit von 12 Stunden operativ versorgt wurden, ebenfalls nicht häufiger offen reponiert ($p=0,7701$). Auch Komplikationen im Behandlungsverlauf traten nicht häufiger auf ($p=0,3837$).

Gupta 2004 (69) verglich ebenfalls zwei Kohorten, die vor und nach einer Zeitspanne von zwölf Stunden operiert wurden. Auch in hiesiger Studie wurden keine erhöhten Komplikationsraten (Pin-Infektion, iatrogene Nervenläsion, vaskuläre Komplikationen, Kompartmentsyndrom) detektiert. Bei Mehlmann 2001 (84) traten perioperative Komplikationen (Pin-Infektion, iatrogene Nervenläsion, ungeplanter Technikwechsel) bei Patienten, deren Fraktur erst nach einer Wartezeit von über acht Stunden erfolgte, ebenso nicht signifikant häufiger auf.

Tuomilehto zeigte 2018 (67) durch eine Untersuchung, in der jegliche Fälle von suprakondylären Humerusfrakturen, nach einer Änderung des Behandlungsregimes auch Fälle mit beeinträchtigter Blutzirkulation, am Folgetag in der Regelarbeitszeit versorgt wurden, dass die Komplikationsrate durch eine operative Versorgung der Frakturen am Folgetag nicht anstieg. Es ergab sich kein Unterschied in Bezug auf die Dauer des stationären Aufenthaltes, die Rate von perioperativen Infektionen und iatrogenen Nervenläsionen sowie auf die Rate von Revisionen und Korrekturosteotomien. Die Operationszeit konnte jedoch verringert werden.

Bei Aslan 2014 (121) zeigten sich bei Frakturen, die 24 Stunden nach Vorstellung in der chirurgischen Ambulanz operativ versorgt wurden, ebenfalls nicht signifikant mehr Komplikationen im Behandlungsverlauf. Murnaghan 2010 (42) untersuchte eine Kohorte von Patienten, die innerhalb der ersten acht Stunden nach Eintreffen in der chirurgischen Ambulanz versorgt wurden ($n = 48$) oder nach einer Zeitspanne von acht Stunden ($n = 39$). Die Operationszeit verlängerte sich durch eine längere Wartezeit nicht ($p = 0,77$), die radiologischen Nachuntersuchungen zeigten in beiden Gruppen keinen Unterschied bezüglich der Qualität der Reposition.

Bei Garg 2014 (68) wurden ausschließlich Frakturen vom Typ III nach Gartland ($n = 872$) untersucht. Es wurden vier Gruppen von Patienten unterschieden, solche, die innerhalb der ersten sechs Stunden operiert wurden, zwischen sechs und zwölf Stunden, zwischen zwölf Stunden und 48 Stunden und nach 48 Stunden. Auch hier zeigte sich kein Zusammenhang zwischen einer längeren Wartezeit und dem Auftreten von postoperativen Komplikationen. Ebenso wurde durch Bales 2010 (123) eine Analyse ausschließlich von Gartland Typ III Frakturen durchgeführt. Auch hier ergaben sich keine Unterschiede bezüglich innerhalb von 21 Stunden nach Eintreffen in der Ambulanz versorgten und nach 21 Stunden versorgten Frakturen hinsichtlich postoperativer Komplikationen.

Einflussfaktor Übergewicht

Aktuell wird der Einfluss eines neuen Faktors auf die Komplikationsrate diskutiert. Ein Faktor, der das Auftreten einer komplexen Fraktur und das Auftreten neuronaler Läsionen wahrscheinlich erhöht, ist das Übergewicht im Kindesalter. Bei Seeley 2014 (110) zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang ($p < 0,001$) zwischen dem Auftreten von höhergradig dislozierten Frakturen und vorhandenem Übergewicht. Als Übergewicht wurde in hiesiger Studie ein BMI über der 85. Perzentile gewertet. Auch initiale ($p = 0,02$) und postoperative Nervenläsionen ($p < 0,001$) sowie postoperative Komplikationen ($p < 0,01$) traten signifikant häufiger bei übergewichtigen Kindern auf. Wang 2017 (111) wies in seiner Untersuchung ein statistisch signifikant höheres Risiko für übergewichtige Kinder auf, eine initiale neurovaskuläre Komplikation bei Gartland-III-Frakturen zu erleiden ($p = 0,004$).

Li 2018 (98) untersuchte den Einflussfaktor des Übergewichts hinsichtlich der Repositionsmethode. Es konnte in hiesiger, multizentrischer Studie ($n = 31.905$) ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Durchführen einer offenen Reposition und dem Gewicht des betroffenen Patienten nachgewiesen werden. Frakturen übergewichtiger Kinder wurden demnach signifikant häufiger ($p < 0,05$) durch eine offene Reposition versorgt.

Chang 2015 (97) untersuchte ebenfalls in einer retrospektiven Studie suprakondyläre Humerusfrakturen vom Typ III nach Gartland hinsichtlich des BMI der betroffenen Patienten. Hier zeigte sich für adipöse Patienten eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, im Behandlungsverlauf einen Cubitus varus zu erleiden

($p = 0.017$). Ebenso traten bei übergewichtigen Kindern häufiger Infektionen des Osteosynthesematerials auf ($p = 0.013$).

Stationärer Aufenthalt, Sportkarenz und Metallentfernung

Im Mittel blieben die Patienten unserer Studie 2,3 Tage stationär. Bei Khoshbin 2014 (28) betrug der mittlere stationäre Aufenthalt nach Kirschnerdraht-Osteosynthese 1,1 Tage, bei Turgut 2016 (39) 2,0 Tage (Range: 1–6 Tage), bei Aslan 2014 (120) 2,9 Tage.

Ein verlängerter stationärer Aufenthalt (> 3 Tage) war signifikant häufiger ($p = 0.0001$) bei Patienten der Fall, die eine offene Reposition erhalten hatten. Nach einer offenen Reposition blieben die betroffenen Patienten im Mittel 3,3 Tage stationär. Schäffer 2007 (7) untersuchte eine ausschließlich durch ESIN versorgte Patientenkollektive. In hiesiger Studie dauerte der stationäre Aufenthalt im Mittel 3,6 Tage.

Die Sportkarenz stand in statistisch signifikantem Zusammenhang zur Therapie- ($p < 0.01$) und Repositionsmethode ($p = 0.0051$) und wird in Kapitel 4.1.2 genauer erläutert.

Der Zeitraum bis zur Metallentfernung zeigt sich bei mit ESIN versorgten Patienten erwartungsgemäß länger. Die Zeitspanne bis zur Metallentfernung belief sich im Mittel auf 111 Tage. Bei Patienten, deren Frakturen durch Kirschnerdrähte versorgt wurden, wurde die Metallentfernung durchschnittlich am 42. postoperativen Tag durchgeführt. Bei Schäffer 2007 (7) wurde die Metallentfernung bei mit Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgten Frakturen nach durchschnittlich 100 Tagen durchgeführt.

4.1.2 Komplikationsanalyse hinsichtlich der operativen Versorgung

50,6 % ($n=90$) unserer Patienten wurden durch ESIN versorgt, 49,4 % ($n=88$) durch eine Kirschnerdraht-Osteosynthese. In 14 Fällen war ein Umstieg von ESIN auf Kirschnerdraht-Osteosynthese nötig. Während bei fünf Patienten eine adäquate Fixierung durch eine intramedulläre Nagelung nicht möglich war, war bei acht weiteren Fällen die Unmöglichkeit der geschlossenen Reposition der limitierende Faktor. Bei einem weiteren Patienten erfolgte die Exploration des Ellenbogens und eine offene Reposition aufgrund eines intraoperativ aufgetretenen vaskulären Defizits. So war bei 86,5 % der geplanten ESIN-Operationen letztendlich auch eine Versorgung durch die intramedulläre Nagelung möglich.

In 33,2 % der Fälle ($n = 59$) wurde eine offene Reposition durchgeführt. Bei Krusche-Mandl 2012 (31) wurde in 46,2 % der Fälle eine offene Reposition durchgeführt, bei Khoshbin 2014 (28) in 21,3 %, bei Aslan 2014 (121) in 16,7 % der Fälle.

Aksakal 2013 (122) betrachtete isoliert Gartland-Typ-III-Frakturen. In hiesiger Studie wurde bei 61,6 % der Frakturen eine offene Reposition durchgeführt.

Es bestand ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Frakturtypus und der gewählten Therapiemethode ($p < 0.001$). Frakturen vom Typ IV wurden signifikant häufiger durch eine Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgt. In einer vergleichbaren Studie von Eberl 2011 (23) waren 60 % der Frakturen durch ESIN versorgt worden, 40 % durch eine Kirschnerdraht-Osteosynthese. Die Verteilung der Frakturtypen nach Gartland war in hiesiger Studie in beiden Gruppen gleich.

Zwischen Frakturtypus und Repositionsart bestand in unserer Studie kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p = 0.8537$).

Ein statistisch signifikanter Zusammenhang bestand zwischen dem Auftreten von Komplikationen und der Therapiemethode ($p = 0.048$). Der Anteil von postoperativen Komplikationen war bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese erhöht. Im Vergleich der offenen und geschlossenen Repositionen ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Komplikationen und der Art der Reposition ($p = 0.1932$).

Bei einzelner Betrachtung der postoperativen Komplikationen zeigte sich bezüglich der Bewegungseinschränkung weder im Vergleich ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese ($p = 0.2643$) noch im Vergleich der offenen und geschlossenen Reposition ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p = 0.4352$).

Postoperative Nervenläsionen traten signifikant häufiger ($p = 0.0231$) bei mit Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgten Frakturen auf. Auch bezüglich der Repositionsmethode bestand ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p = 0.0012$). Patienten, deren Frakturen geschlossen reponiert wurden, wiesen häufiger postoperative Nervenläsionen auf.

Es ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Auftretens postoperativer Nervenläsionen und der Anzahl der implantierten Pins bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese ($p = 0.221$).

Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Behandlungsdauer bei mit ESIN oder Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgten Frakturen. Bei näherer Betrachtung der Patienten, die eine Osteosynthese durch Kirschnerdrähte erhielten, wurde jedoch ersichtlich, dass sich die Behandlungsdauer durch das Durchführen einer offenen Reposition signifikant verlängerte ($p = 0.0427$). Ebenso verlängerte sich der stationäre Aufenthalt nach Versorgung einer Fraktur durch eine offene Reposition ($p = 0.0032$). Patienten, deren Frakturen durch eine offene Reposition versorgt wurden, blieben im Mittel 3,3 Tage stationär. Nach einer Versorgung durch eine geschlossene Reposition dauerte der stationäre Aufenthalt durchschnittlich 2,3 Tage, nach Versorgung via ESIN 1,7 Tage. Ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der stationären Aufenthaltstage nach ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese ergab sich nicht.

Hinsichtlich der Zeitspanne der Sportkarenz wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zur Therapiemethode ($p = <0.01$) und zur Repositionsmethode festgestellt ($p = 0.0051$). Während die verordnete Sportkarenz bei mit ESIN versorgten Frakturen im Mittel 32,3 Tage andauerte, wurde Patienten, die eine Kirschnerdraht-Osteosynthese erhielten, die Freigabe zu sportlicher Betätigung im Mittel nach 59 Tagen erteilt. Nach offener Reposition betrug die Zeitspanne bis zum Ende der Sportkarenz 64,8 Tage, nach geschlossener Reposition nur 47,3 Tage.

5 Zusammenfassung

Die suprakondyläre Humerusfraktur ist eine Fraktur des durchschnittlich fünf bis sechs Jahre alten Kindes (2, 11, 22, 24, 25, 28, 30, 32, 34, 42, 49, 99). Während frühere Studien ein Überwiegen von männlichen Betroffenen aufzeigten (2, 13, 33, 35, 44, 45, 49, 89, 111), weisen neuere Studien aus Westeuropa und Nordamerika (24, 25, 28, 30, 99) ein ausgeglichenes Geschlechterverhältnis, einige Untersuchungen (6, 30) sogar ein Überwiegen von weiblichen Patienten auf. Ebenso aktuelle Untersuchungen aus Asien (63,89) zeigen weiterhin ein typisches Überwiegen von männlichen Patienten auf.

Ein Großteil der Unfälle, die zu einer suprakondylären Humerus-fraktur führen, geschehen während der Sommermonate (24, 28, 45, 88, 99). Als Unfallursachen gelten vor allem bewegungsreiche Freizeitaktivitäten (1, 24, 25, 45). Besonders häufig entstehen suprakondyläre Humerusfrakturen durch einen Sturz auf dem Spielplatz (24) und/oder durch einen Sturz aus größerer Höhe (41, 45, 89, 115). Fahrradstürze, Reit- und Verkehrsunfälle spielen eine untergeordnete Rolle (24, 25, 45).

Der am häufigsten auftretende Frakturtyp ist die höhergradig dislozierte Fraktur Typ IV nach Laer (weitestgehend entsprechend der Gartland-Typ-III-Fraktur) (13, 24, 25, 89). Der Anteil offener Frakturen ist gering und liegt bei circa 1 % aller Frakturen (25, 28, 99). Flexionsfrakturen ereignen sich viel seltener als Extensionsfrakturen, und zwar in ca. 2 % bis 3 % der Fälle (24, 89, 100). Der linke Arm ist häufiger betroffen als der rechte (13, 24, 25, 34, 35, 41, 44, 45, 63).

Die Rate an initialen Nervenläsionen liegt zwischen 3,8 % und 16 % (2, 24, 25, 26, 27, 31, 68, 108), der am häufigsten betroffene Nerv ist der N. medianus (26, 27, 31, 89, 108). Bei höhergradig dislozierten Frakturen ist die Rate an initialen Nervenläsionen erhöht und liegt zwischen 13,5 % und 43 % (6, 111).

Ältere Patienten erleiden häufiger primäre Nervenverletzungen (2, 31, 99, 111), ebenso übergewichtige Kinder (111). Postoperativ bilden sich initiale Nervenläsionen nach einer korrekt durchgeführten Reposition in den meisten Fällen zurück (6, 31, 82). Bei persistierenden Ausfällen ist eine operative Revision vonnöten (31).

Begleitende Gefäßläsionen treten bei 5 % bis 7,7 % der Patienten auf (31, 108) und präsentieren sich klinisch durch ein Pulsdefizit der A. radialis.

Die operative Versorgung der suprakondyläre Humerusfraktur wird im Normalfall innerhalb der ersten 48 Stunden nach klinischer Vorstellung durchgeführt (30). Zahlreiche Studien untersuchten den Operationszeitpunkt hinsichtlich der postoperativen Komplikationsrate. Ein signifikanter Unterschied zwischen direkt versorgten (<8 Stunden bei Mehlmann 2001 (84) und Murnaghan 2010 (42), <12 Stunden bei Gupta 2004 (69), <24 Stunden bei Aslan 2014 (121)) Frakturen und solchen, welche später im Behandlungsverlauf versorgt wurden, trat nicht auf. Ebenso Vergleiche zwischen am Vorstellungstag und Folgetag operierten Frakturen zeigten keine Auffälligkeiten (67). Isoliert Gartland Typ III betrachtende Analysen wiesen ebenso keine Auffälligkeiten hinsichtlich postoperativer Komplikationen bei direkt und nach längerer Zeitspanne versorgten Frakturen auf (30, 48, 68, 123).

Die Komplikationsrate der suprakondylären Humerusfraktur gilt insgesamt als hoch. Raten an komplizierten Verläufen von 6,2 % bis 7,1 % (31, 32, 41) sind der Normalfall. Typische Komplikationen im Behandlungsverlauf sind, neben den üblichen möglichen Komplikationen wie Wundheilungsstörungen, Dislokation des Osteosynthesematerials, kosmetisch auffälligen Narben etc., die initiale Bewegungseinschränkung, die Entwicklung eines Cubitus varus oder valgus, sowie die iatrogene Nervenläsion.

Bewegungseinschränkungen nach operativer Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur sind häufig (25, 44), jedoch im Behandlungsverlauf in nahezu allen Fällen komplett rückläufig (7, 23, 25, 44).

Cubitus varus Deformitäten treten in 4,1-9,3% aller Fälle auf (25, 39, 121). Der Anteil von iatrogenen Nervenläsionen liegt bei 6-15% (23, 39, 114, 115, 119). Einige Autoren empfehlen zur Vermeidung der iatrogenen N. ulnaris Läsion eine rein laterale Kirschnerdrahtosteosynthese durchzuführen (27, 41, 47, 48, 52, 113). Auffälligkeiten hinsichtlich mangelnder Stabilität bei der rein lateralen Pinnung im Gegensatz zur gekreuzten Kirschnerdrahtosteosynthese fielen bisher nicht auf (35, 41). Auch das Durchführen einer

Elastisch-Stabilen-Intramedullären-Nagelung kann das Risiko eine intraoperative Läsion des N. ulnaris zu verursachen verringern (23).

Sollte eine Schädigung des N. ulnaris auftreten, bildet sich diese im Mittel nach zwei bis acht Monaten ohne weitere Therapie vollständig zurück (23, 39, 117, 119).

Ziel der retrospektiven Analyse dieser Arbeit war es, die typischen Komplikationen der suprakondylären Humerusfraktur hinsichtlich der Epidemiologie, der Ätiologie und in Bezug auf die gängigen Behandlungsverfahren und somit hinsichtlich beeinflussbarer und nicht beeinflussbarer Faktoren zu untersuchen. Hierzu wurden alle im Zeitraum von Januar 2007 bis August 2014 in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals operativ versorgten suprakondylären Humerusfrakturen erfasst.

Das Kollektiv unserer Studie bestand aus 178 Patienten im Alter von durchschnittlich 5,9 Jahren. 60,6 % unserer Patienten waren männlich. In 62 % der Fälle war der rechte Arm frakturiert. Den häufigsten Frakturtypus stellte die Typ-IV-Fraktur mit 46 % dar. Die häufigsten Unfallursachen waren Unfälle auf dem Spielplatz (30 %), Trampolinspringen (17 %), Sturz aus > 1,50 m Höhe (17 %), Fahrradunfälle (11 %) und Unfälle beim Vereins- bzw. Schulsport (11 %).

Die Komplikationen, die bei der Behandlung von suprakondylären Humerusfrakturen in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals auftraten und in unserer Studie zusammengefasst wurden, waren Bewegungseinschränkungen, initiale und postoperative nervale Defizite, Varus- und Valgusfehlstellungen, Wundinfektionen und Perforationen des Osteosynthesematerials. Bei 36,6 % der Patienten traten Komplikationen im Behandlungsverlauf auf. Die von uns verzeichneten Komplikationen waren fast ausnahmslos (94,4 %), wie auch in der Literatur (5, 10, 19, 49) beschrieben, von passagerer Natur und nach einer Nachbeobachtungszeit von im Durchschnitt 6,8 Monaten (Median: 117 Tage, Range: 38–1.091) nicht mehr nachweisbar. Die Nachbeobachtungszeit betrug im Mittel 169,4 Tage (Median: 105, Range: 27–1.272 Tage).

Der Anteil der komplett komplikationslosen Heilungsrate sank mit zunehmendem Alter deutlich ($p = 0.032$), der Anteil von Komplikationen insgesamt war außerdem bei Typ-IV-Frakturen höher ($p = 0.001$) als bei allen anderen Frakturtypen.

Initiale neurovaskuläre Begleitverletzungen erlitten 18 Patienten. Bei zwei Patienten war ein Pulsdefizit der A. radialis aufgefallen, drei Patienten präsentierten klinische Symptome einer N.-medianus-Läsion, sieben weitere einer N.-ulnaris-Läsion und fünf weitere Patienten Symptome einer N.-radialis-Läsion. Bei zwei Patienten war sowohl der N. medianus als auch der N. ulnaris betroffen.

Patienten unserer Studie wurden im Mittel zwölf Stunden und neun Minuten nach Eintreffen in der Kinderchirurgischen Ambulanz operiert (Median: fünf Stunden und 23 Minuten). Es ergab sich ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte der Wartezeit in der Ambulanz ($p = <0.001$). Frakturen vom Typ IV wurden im Durchschnitt bereits nach 6,5 Stunden chirurgisch versorgt, Typ-III-Frakturen nach 12,3 Stunden und Frakturen vom Typ II nach 22,7 Stunden. 75,6 % aller Frakturen vom Typ IV wurden in den ersten sechs Stunden nach Eintreffen in der Ambulanz operiert ($p < 0.001$). Bei Typ-III-Frakturen waren es 44,2 %, bei Typ-II-Frakturen nur 25,5 %. Frakturen vom Typ IV wurden außerdem am häufigsten außerhalb der Dienstzeit (17:00 bis 08:00 Uhr) operiert ($p = < 0.001$). Die Komplikationsrate bei am Aufnahmetag und am Folgetag operierten Patienten mit Typ IV Frakturen unterschied sich nicht.

In einem Fall des initialen Pulsdefizits der A. radialis kam es nach korrekter Reposition und in einem weiteren Fall nach Exploration und Thrombektomie der A. brachialis zum Wiedererlangen einer adäquaten Durchblutungssituation. Die zu Beginn der Behandlung bestehenden initialen Nervenläsionen ($n = 17$) waren zu 58,8 % ($n = 10$) direkt postoperativ nicht mehr nachweisbar. Alle weiteren neuronalen Ausfallsymptome waren im Verlauf der Behandlung, im Mittel nach 153 Tagen, komplett regredient.

25,8 % ($n = 46$) der Kinder wiesen, unabhängig von der Operationsmethode und der Repositionsmethode, initial postoperativ Bewegungseinschränkungen auf. Im Mittel betrug die Nachbeobachtungszeit und somit die Dauer bis zur kompletten Remission bei Patienten mit Bewegungseinschränkungen ca. 7,5 Monate. Die Nachbehandlungszeit ($p = 0.0226$) und die Dauer des stationären Aufenthaltes ($p = 0.0039$) war bei Patienten mit Bewegungseinschränkungen signifikant verlängert.

Ein Unterschied hinsichtlich der Operationsmethode fiel nicht auf. Auch die Repositionsmethode hatte, wie bei Aksakal 2013 (122), keinen Einfluss auf die postoperative Entwicklung der Bewegungsfreiheit ($p = 0.4352$). Auch Unterschiede hinsichtlich des Alters und des Frakturtypus waren nicht statistisch signifikant ($p = 0.1226$; $p = 0.1779$). Es konnte in unserer Studie kein prädiktiver Faktor für Bewegungseinschränkungen im Behandlungsverlauf der suprakondylären Humerusfraktur gefunden werden.

5,1 % ($n=9$) aller Patienten unserer Kohorte ($n = 178$) erlitten im Verlauf eine Valgus- oder Varusfehlstellung. Die Valgusfehlstellung trat bei unseren Patienten fast genauso häufig auf wie die Varusfehlstellung. Fünf Patienten wiesen zum Zeitpunkt der letzten klinischen Vorstellung noch einen Cubitus varus oder Cubitus valgus auf, zwei Familien brachen die Nachbehandlung ab. Keine zum Freigabezeitpunkt noch verbliebene Varus- bzw. Valgusfehlstellung ging mit Bewegungseinschränkungen einher, das Fehlstellungsmaß war zum Ende der Nachbeobachtungszeit durchgehend gering ($\leq 15^\circ$).

Bei sieben Patienten (3,9%) unserer Studie kam es zu einer Perforation des Osteosynthesematerials durch die Haut, in zwei Fällen einhergehend mit einer Wundinfektion. In zwei weiteren Fällen wurde aufgrund der Migration des Osteosynthesematerials eine verfrühte Metallentfernung durchgeführt.

50,6 % ($n=90$) unserer Patienten erhielten eine operative Versorgung durch ESIN, 49,4 % ($n=88$) durch eine Kirschnerdraht-Osteosynthese. In 33,2 % der Fälle ($n = 59$) wurde eine offene Reposition durchgeführt. Bei 14 Fällen erfolgte ein intraoperativer Umstieg von ESIN auf eine Kirschnerdraht-Osteosynthese aufgrund der inadäquaten Fixierung ($n = 5$), Unmöglichkeit der geschlossenen Reposition ($n = 8$) und Exploration des Ellenbogens aufgrund eines vaskulären Defizits ($n = 1$).

Frakturen vom Typ IV wurden signifikant häufiger durch eine Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgt ($p < 0.001$). Zwischen Frakturtypus und Repositionsart bestand kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p = 0.8537$). Im Mittel blieben die Patienten unserer Studie 2,3 Tage stationär.

Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Behandlungsdauer bei mit ESIN oder Kirschnerdraht-Osteosynthese versorgten Frakturen, jedoch verlängerte sich die Behandlungsdauer durch das Durchführen einer offenen Reposition signifikant ($p = 0.0427$). Ebenso verlängerte sich der stationäre Aufenthalt nach Versorgung einer Fraktur durch eine offene Reposition ($p = 0.0032$). Ein verlängerter stationärer Aufenthalt (> 3 Tage) war signifikant häufiger ($p = 0.0001$) bei Patienten der Fall, die eine offene Reposition erhalten hatten. Nach einer offenen Reposition blieben die betroffenen Patienten im Mittel 3,3 Tage, und somit einen Tag länger als der Durchschnittswert unserer Studie, stationär.

Bezüglich der Zeitspanne der Sportkarenz wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zur Therapiemethode ($p = < 0.01$) und zur Repositionsmethode festgestellt ($p = 0.0051$). Patienten nach einer Kirschnerdraht-Osteosynthese erhielten die Freigabe zu sportlicher Betätigung im Mittel 26,7 Tage später. Nach offener Reposition wurde die Zeitspanne bis zum Ende der Sportkarenz noch einmal um 5,8 Tage verlängert.

Die Zeitspanne bis zur Metallentfernung belief sich bei mit ESIN versorgten Patienten im Mittel auf 111 Tage. Bei Patienten, deren Frakturen durch Kirschnerdrähte versorgt wurden, wurde die Metallentfernung durchschnittlich am 42. postoperativen Tag durchgeführt.

Die Rate von postoperativ neu aufgetretenen Nervenläsionen betrug in unserer Studie 12,4 % ($n = 22$). Patienten, die älter als sechs Jahre waren, erlitten 2,5-fach häufiger eine postoperative Nervenläsion ($p = 0.0312$).

Signifikant häufiger traten postoperative Nervenläsionen auch bei Frakturen vom Typ IV auf ($p = 0.0237$), bei Patienten, die eine Kirschnerdraht-Osteosynthese erhalten hatten ($p = 0.0231$) und bei solchen, deren Fraktur geschlossen reponiert wurde ($p = 0.0012$). Unabhängig war das Auftreten von postoperativen Nervenausfällen von der Anzahl der implantierten Pins bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese ($p = 0.221$). Alle Patienten unserer Studie erhielten eine gekreuzte Kirschnerdraht-Osteosynthese.

Alle postoperativ neu aufgetretenen Läsionen waren, bis auf einen Fall, vollständig reversibel. Die Patienten präsentierten sich klinisch im Mittel nach einer Zeitspanne von 5,5 Monaten (162,5 Tagen) unauffällig.

Zur Behandlungsoptimierung betrachteten wir isoliert auch den durch seinen Verlauf im Sulcus nervi ulnaris dorsal des Epicondylus medialis besonders gefährdeten Nervus ulnaris hinsichtlich einer iatrogenen Läsion. In der Vergangenheit war zum einen eine Schonung dieses Areals durch den Verzicht auf einen medialen Kirschnerdraht vorgeschlagen worden (27, 41, 47, 48, 52, 113). Es kann unserer Ansicht nach jedoch auch durch eine offene Reposition und ein Anschlingen des N. ulnaris unter Sicht oder durch das frakturferne Einbringen der ESIN-Implantate eine Schonung des Nerven erfolgen.

In unserer Studie waren Patienten, deren Fraktur mit einer elastisch-stabilen intramedullären Nagelung versorgt wurde ($p = 0.0262$), und Patienten, deren Fraktur offen reponiert wurde ($p = <0.0001$), weniger gefährdet, eine postoperative N.-ulnaris-Läsion zu entwickeln.

Folgendes Verfahren wäre hiernach vorzuschlagen: Zum einen Etablierung der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung zur Versorgung der Frakturen, bei denen eine Stabilisierung durch die ESIN-Osteosynthese möglich ist. Zum anderen sollte bei hochgradig dislozierten Frakturen eine Kirschnerdraht-Osteosynthese nur nach offener Reposition und Schonung des N. ulnaris durch Anschlingen und Präparation des Nerven und Implantation der Kirschnerdrähte unter Sicht erfolgen.

Aus diesem Grund kann die geschlossene Reposition bei der operativen Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur in Hinblick auf die mögliche akzidentielle und iatrogene Gefährdung des Nervus ulnaris neu diskutiert und besonders der Versuch der geschlossenen Reposition bei Frakturen mit höhergradiger Dislokation infrage gestellt werden.

Dem steht jedoch die Feststellung entgegen, dass die Repositionsart Einfluss auf viele Aspekte des Behandlungsverlaufes ausübt. Sowohl der stationäre Aufenthalt als auch die Dauer der Nachbehandlung war nach offenen Repositionen signifikant erhöht. Die Repositionsmethode beeinflusste in unserer Studie außerdem auch die Länge der verordneten Sportkarenz. Bezüglich der Komplikationsrate und der Funktionalität ergaben sich keine Unterschiede hinsichtlich der Repositionsart.

Abschließend ist zu sagen, dass die suprakondyläre Humerusfraktur nach wie vor ein vielseitiges Krankheitsbild darstellt, das aufgrund der speziellen Anatomie und der ihr eigenen Komplikationen auch weiterhin, besonders hinsichtlich der verschiedenen Therapiemethoden, eine Sonderstellung einnimmt. Zum einen steht nach wie vor die schnell durchzuführende Kirschnerdrahtosteosynthese nach geschlossener Reposition für ein einfach zu erlernendes Verfahren, welches einen kurzen stationären Aufenthalt mit geringer Nachbehandlungszeit mit sich bringt. Auf der anderen Seite steht die technisch anspruchsvollere Methode der Elastisch-stabilen-Intramedullären-Nagelung, welche höhere Anforderungen an den Operateur stellt und mit steigendem Dislokationsgrad der Fraktur zunehmend schwieriger durchzuführen ist, jedoch das Risiko iatrogenen Nervenläsionen deutlich zu verringern scheint und eine schnellere Mobilisierung der Patienten ermöglicht. Als weiterer Faktor beeinflusst die Repositionsmethode den Behandlungsverlauf der supracondylären Humerusfraktur. Während eine geschlossene Reposition einen kürzeren stationären Aufenthalt, ein besseres kosmetisches Ergebnis und eine kürzere Nachbehandlungszeit mit sich bringt, ist durch das blinde Einbringen der Kirschnerdrähte bei der geschlossenen Reposition der im Sulcus n. ulnaris am medialen Epicondylus verlaufende Ulnarisnerv besonders gefährdet. In unserer Studie wies das bei geschlossenen Repositionen 20,4-fach erhöhte Risiko eine postoperative N.-ulnaris-Läsion zu verursachen deutlich daraufhin, dass die Vorteile der geschlossenen Reposition für jeden dritten Patienten eine passagere neurologische Einschränkung mit sich brachte, welche durch eine offene Reposition gegebenenfalls verhinderbar gewesen wäre.

6 Literaturverzeichnis

1. Krauss R, Schneidmüller D, Röder C (2005): Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. Deutsches Ärzteblatt 102: A-838/B-708/C-661
2. Gera SK, Orth MS, Tan MCH et al.: „Displaced Supracondylar Humerus Fractures In Children – Are They All Identical“, In: Malays Orthop J. 2017 Jul; 11(2): 40-44
3. Schneidmüller D, Boettger M, Laurer H, Gutsfeld P, Bühren V (2013): CME Zertifizierte Fortbildung, Der Orthopäde 42:977-987
4. Aschenbrenner I, Biberthaler P: „DGU-Patienteninformation. Die supracondyläre Humerusfraktur“. In: www.dgu-online.de. Stand: August 2012, S. 2 http://www.dgu-online.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/DGU_Patienteninformation_Suprakondyläre_Humeruskopffraktur_f.pdf (abgerufen am 25.08.2014)
5. Parsch K: Ellenbogengelenk, in: Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie, hg. von Dietz HG, Springer Verlag Heidelberg 2011
6. Houshian S, Mehdi B, Larsen MS (2001): The epidemiology of elbow fracture in children: analysis of 355 fractures, with special reference to supracondylar humerus fractures. Journal Orthopaedic Science 6(4):312-5
7. Schäffer K, Böhm R, Dietz HG (2007): Die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) der suprakondylären Humerusfraktur im Kindesalter. Unfallchirurg 110:852–858
8. Laer L v.: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 3.Aufl., Stuttgart; NewYork: Thieme 1996
9. Slongo T, Audigé L, Schlickewei W et al. (2006): Development and validation of the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures by the Pediatric Expert Group of the AO foundation in collaboration with AO Clinical Investigation and Documentation and the International Association for Pediatric Traumatology. Journal Pediatric Orthopaedics 26: 43–49
10. Dietz HG, Illing P, Schmitzenbecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW (Hrsg.): Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie. Heidelberg: Springer Medizin Verlag 2011
11. Metaizeau JP: 'Intramedulläre Osteosynthese bei der suprakondylären Humerusfraktur', in: Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter, hg. von Dietz HG, München 1997
12. Schmitzenbecher P: Wachstumsphänomene und Korrekturmechanismen des wachsenden Skeletts, in: Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie, hg. von Dietz H.G., Heidelberg 2011
13. Barron-Torres EA, Sanchez-Cruz JF, Cruz-Melendez JR: „Clinical and epidemiological characteristics of humeral supracondylar fractures in pediatric patients in a Regional General Hospital“, In: Cir.Cir. 2015 Jan-Feb; 83(1):29-34
14. Dietz HG: Grundlagen der konservativen Frakturbehandlung, in: Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie, hg. von Dietz H.G., Heidelberg 2011
15. Marzi I: Grundlagen der operativen Frakturbehandlung, in: Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie, hg. von Dietz H.G., Heidelberg 2011
16. Laer L v.: Verletzungsformen, in: Kindertraumatologie, hg. von Marzi I., Heidelberg 2010
17. Kraus R: Epidemiologie, in: Kindertraumatologie, hg. von Marzi I., Heidelberg 2010
18. Vogl TJ, Wetter A, Schneidmüller D.: Radiologische Diagnostik, in: Kindertraumatologie, hg. von Marzi I., Heidelberg 2010
19. Worel AM, T. Slongo: Behandlungsprinzipien, in: Kindertraumatologie, hg. von Marzi I., Heidelberg 2010

20. Wurzinger LJ: „Schulter, Oberarm und Ellenbogen“, in: Duale Reihe Anatomie, 2. Auflage, Thieme Stuttgart 2010
21. Frank J.: Nervenverletzungen, in: Kindertraumatologie, hg. von Marzi I., Heidelberg 2010
22. Wessel L.M.: Ellbogen, Kap. 13.2: supracondyläre Humerusfrakturen, in Kindertraumatologie, hg. von Marzi I., Heidelberg 2010
23. Eberl R.: Iatrogenic ulnar nerve injury after pin fixation and after antegrade nailing of supracondylar humeral fractures in children, *Acta Orthopaedica* 2011; 82 (5): 606–609
24. Barr L.V.: Paediatric supracondylar humeral fractures: epidemiology, mechanisms and incidence during school holidays, *J Child Orthop* (2014) 8:167–170
25. Weinberg A.-M.: Die suprakondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter – eine Effizienzstudie, *Unfallchirurg* (2002) 105: 208–216
26. Joiner ER, Skaggs DL, Arkader A: “Iatrogenic Nerve Injuries in the Treatment of Supracondylar Humerus Fractures: Are We Really Just Missing Nerve Injuries on Preoperative Examination?”, In: *J Pediatr Orthop* (2014) Jun;34(4):388-92
27. Babal JC, Mehlmann CT, Klein G.: Nerve injuries associated with pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis. *J Pediatr Orthop.* 2010; 30:253–263.
28. Khoshbin A.: The epidemiology of paediatric supracondylar fracture fixation: A population-based study, in: *Injury, Int. J. Care Injured* 45 (2014) 701–708
29. Kraus R.: The Treatment of Upper Limb Fractures in Children and Adolescents, in: *Dtsch Arztebl Int* 2010; 107(51–52): 903–10
30. Kronner JM: An evaluation of supracondylar humerus fractures: is there a correlation between postponing treatment and the need for open surgical intervention? *Journal Children’s Orthopaedics* (2013) 7:131–137
31. Krusche-Mandl I.: Crossed pinning in paediatric supracondylar humerus fractures: a retrospective cohort analysis, in: *International Orthopaedics (SICOT)* (2012) 36:1893–1898
32. Lacher M.: The Treatment of Supracondylar Humeral Fractures with Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) in Children *J Pediatr Orthop* 2011; 31:33–38
33. Ladenhauf H.N.: The displaced supracondylar humerus fracture: indications for surgery and surgical options: a 2014 update, in: *Curr Opin Pediatr* 2014, 26:64 – 69
34. Madjar-Simic, I.: Radiographic assessment in the treatment of supracondylar humerus fractures in children, in: *ACTA INFORM MED.* 2012 Sep; 20(3): 154-159
35. Maity A.: A prospective randomised, controlled clinical trial comparing medial and lateral entry pinning with lateral entry pinning for percutaneous fixation of displaced extension type supracondylar fractures of the humerus in children, in: *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2012 7:6
36. Matuszewski L.: Evaluation and management of pulseless pink/pale hand syndrome coexisting with supracondylar fractures of the humerus in children, in: *Eur J Orthop Surg Traumatol* DOI 10.1007/s00590-013-1337-4
37. Schünke M. et al.: Prometheus - Lernatlas der Anatomie, 2.Aufl., Stuttgart 2007
38. Heinrich M., Schäfer K.: Kap.8 Pädiatrische Traumatologie und benigne Knochentumoren, in: *Kinderchirurgie* hg. von von Schweinitz, München 2008
39. Turgut A, Önvural B, Kazimoglu C et.al.: ‘How safe ist he semi-sterile technique in the percutaneous pinning of supracondylar humerus fractures?’, In: *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 2016 Sep;22(5):477-482

40. Mc Lennan M.: "Radiology Rounds. Supracondylar fracture of the distal humerus", In: Canadian Family Physician 1997 Mai;43: 857-872
41. Memisoglu K., Kesemenli C., Atmaca H.: Does the technique of lateral cross-wiring (Dorgan's technique) reduce iatrogenic ulnar nerve injury? in: International Orthopaedics (SICOT) (2011) 35:375–378
42. Murnaghan M.: The effect of surgical timing on operative duration and quality of reduction in Type III supracondylar humeral fractures in children, in: J Child Orthop (2010) 4:153–158
43. Guifo ML, Tochie JN, Oumarou BN et.al.: „Paediatric fractures in a sub-saharan tertiary care center: a chort analysis of demographic characteristics, clinical presentation, therapeutic patterns and outcomes“, In: Pan Afr Med J 2017; 27:46
44. Zionts L.: Time of Return of Elbow Motion after Percutaneous Pinning of Pediatric Supracondylar Humerus Fractures, in: Clin Orthop Relat Res (2009) 467:2007–2010
45. Young S.: Deformity and functional outcome after treatment for supracondylar humerus fractures in children: a 5- to 10-year follow-up of 139 supracondylar humerus fractures treated by plaster cast, skeletal traction or crossed wire fixation, in: J Child Orthop (2010) 4:445–453
46. Shukla R, Jain N, Agarwal U, Sheik T, Jain R: Seasonal variation in orthopedic trauma patients – An experiment from central India, In: J Clin Ortop Trauma 2018 Mar;9(Suppl 1): S40-S43
47. Woratanarat P.: Meta-Analysis of Pinning in Supracondylar Fracture of the Humerus in Children, in: J Orthop Trauma 2012 ;26:48–53
48. Slobogean BL, Jackman H, Tennant S, Slobogean GP, Mulpuri K: Iatrogenic ulnar nerve injury after the surgical treatment of displaced supracondylar fractures of the humerus: number needed to harm, a systematic review, In: J Pediatr Orthop. 2010 Jul-Aug;30(5):430-6
49. Weinberg A: Deszendierende intramedulläre Nagelung zur Behandlung dislozierter suprakondylärer Oberarmfrakturen im Kindesalter, in: Chirurg 2003 · 74:432–436
50. Gartland JJ (1959) Management of supracondylar fractures of the humerus in children. Surg Gyn Obstet 1959; 109:145–154
51. Hefti F.: Kinderorthopädie in der Praxis (2. Auflage), hg. von Fritz Hefti, Heidelberg 2006
52. Na Y, Bai R, Zhao Z, Han C, Kong L, Ren Y, Liu W: Comparison of lateral entry with crossed entry pinning for pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis, In: J Orthop Surg Res. 2018 Apr 3;13(1):68
53. Hardy M, Boynes S: Paediatric Radiography, 1. Auflage, S.137-141, Oxford 2003
54. Tuomilehto N, Sommarhem A, Nietosvaara AY: 9 years' follow-up of 168 pin-fixed supracondylar humerus fractures in children, In: Acta Orthop. 2018 Jun; 89(3): 351-356
55. Schneidmüller D, Marzi I, Meenen N : Supracondyläre Humerusfraktur beim Kind, in: www.awmf.org (AWMF online der Leitlinienkommission der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.), http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-014l_Suprakondyl%C3%A4re_Humerusfraktur_Kind-2014-12.pdf , Stand Oktober 2015
56. Keppler P: The Effectiveness of Physiotherapy After Operative Treatment of Supracondylar Humeral Fractures in Children, in: J Pediatr Orthop ;2005; 25:314–316
57. Lin-Guo, Xue-Ning Zhang, Jiang-Ping Yang et al.: A systematic review and metaanalysis of two different managements for supracondylar humeral fractures in children, In: J Orthop Surg Res. 2018; 13: 141
58. Dietz, HG., Schmittenebecher PP, Illing P: Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter, 1997 München

59. Matthew R, Kenneth J, Kenneth A: The History of intramedullary Nailing, in: Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases; Vol. 64, Numbers 3&4, 2006
60. Farill J: Orthopedics in Mexico, in: J Boint surgery America 1952; 24: 506-12
61. Fernandez F, Eberhardt O: Klassifikation von Frakturen im Kindesalter, in: Trauma Berufskrankh 2010; 12:323–328
62. Skaggs D, Glassmann D, Weiss J, Kay R: A new surgical technique for the treatment of supracondylar humerus fracture malunions in children, in: J Child Orthop (2011) 5:305–312
63. Balakumar B, Madhuri V: A retrospective analysis of loss of reduction in operated supracondylar humerus, in: Indian J Orthop. (2012) Nov-Dec; 46 (6): 690–697.
64. Weinberg AM, Fischerauer E, Castellani C: „Frakturen der oberen Extremität beim Kind“, In „Orthopädie und Unfallchirurgie up2date“ 2008; 3: pp. 1-20
65. Fernandez F: Ellenbogenverletzungen im Kindesalter, in: Trauma Berufskrankheit 2015;17:48–54
66. Guerra F: Aztec medicine, in: Med Hist. 1966 Oct; 10(4): 315–338
67. Tuomilehto N, Sommarhem A, Salminen P, Nietosvaara AY: Postponing surgery of paediatric supracondylar humerus fractures to office hours increases consultant attendance in operations and saves operation room time, In: J Child Orthop. 2018 Jun 1; 12(3): 288-293
68. Garg S et al.: Clinical characteristics of severe supracondylar humerus fractures in children, in: J Pediatr Orthop. 2014 Jan;34(1):34-9
69. Gupta N, Kay RM, Leitch K, Femino JD, Tolo VT, Skaggs DL: Effect of surgical delay on perioperative complications and need for open reduction in supracondylar humerus fractures in children, In: J Pediatr Orthop. 2004 May;24(3):245-8
70. Temme D: „t-test“ in <http://temme.wiwi.uni-wuppertal.de>, Stand Oktober 2015, abgerufen am 16.11.2015, <http://temme.wiwi.uni-wuppertal.de/fileadmin/kappelhoff/Downloads/Vorlesung/t-test.pdf>
71. Rowe P et al.: Statistik für Mediziner und Pharmazeuten, 2012 Weinheim
72. Andreß HJ: „T-Test für Mittelwertunterschiede zwischen zwei unabhängigen Stichproben“, in: <http://eswf.uni-koeln.de/lehre>, Stand :24. April 2003, abgerufen am 20.11.2015, <http://eswf.uni-koeln.de/lehre/stathome/statcalc/v2401.htm>
73. Hemmerich WA: „Chi-Quadrat Test“, in: <http://matheguru.com>, Stand 2015, abgerufen am 20.11.2015, <http://matheguru.com/stochastik/248-chi-quadrat-test.html>
74. Andreß HJ: „Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest“, in: <http://eswf.uni-koeln.de/lehre>, Stand :25. April 2003, abgerufen am 20.11.2015, <http://eswf.uni-koeln.de/lehre/stathome/statcalc/v2501.htm>
75. Andreß HJ: „F-Test für Mittelwertunterschiede zwischen drei unabhängigen Stichproben (einfache Varianzanalyse)“, in: <http://eswf.uni-koeln.de/lehre>, Stand :24. April 2003, abgerufen am 20.11.2015, <http://eswf.uni-koeln.de/lehre/stathome/statcalc/v2601.htm>
76. Andreß HJ: „T-Verteilung“, in: <http://eswf.uni-koeln.de/lehre>, Stand :29. April 2003, abgerufen am 20.11.2015, <http://eswf.uni-koeln.de/glossar/tvert.htm>
77. Grifka J, Krämer J: „Anamnese und klinische Untersuchung“, in: Orthopädie Unfallchirurgie, Berlin-Heidelberg 2013
78. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), in: <http://www.dguv.de/formtexte/Ärzte/index.jsp>, Stand Juni 2015, abgerufen am 15.01.2016, http://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/F_4030/F4030.pdf
79. Ronninger CU: „Exakter Fisher Test“, in: <http://www.crgraph.de>, Stand 2013, abgerufen am 15.01.2016, http://www.crgraph.de/Exakter_Fisher_Test.pdf

80. Sedlmeier P, Renkewitz F: Forschungsmethoden und Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler, Hallbergmoos 2013
81. Grifka J: Orthopädie und Unfallchirurgie in Frage und Antwort, 4. Aufl. München 2005
82. Korinthenberg R: „Krankheiten der peripheren Nerven“ in: Pädiatrie - Grundlagen und Praxis, 2.Aufl., Hrsg: Schulte FJ, Berlin-Heidelberg 2003
83. Weiler M, Pham M: „Schädigung der peripheren Nerven“, in: „Neurologie“, 14. Aufl., Hrsg: Hacke W, Berlin Heidelberg 2016
84. Mehlmann CT, Strub WM, Roy DR, Crawford AH: The effect of surgical timing on the perioperative complications of treatment of supracondylar humeral fractures in children, In: J Bone Joint Surg Am. 2001 Mar;83-(3):323-7
85. Kraus JA: „Neuropathologische Diagnostik“, in: Klinische Neurologie, 1. Aufl., Hrsg: Berlitt P, Berlin Heidelberg 1999
86. Franz R: „Traumatologie des Stütz- und Bewegungsapparates“, in: Orthopädie im Kindes- und Jugendalter, 2. Aufl, Hrsg.: Chapchal G, Leipzig 1990
87. Krämer J, Grifka J, Kleinert H, Teske W: Orthopädie, Unfallchirurgie: Springer Verlag, Heidelberg ,2007
88. Sinikumpu JJ, Pokka T, Hyvönen H, Ruuhela R, Serlo W: Supracondylar humerus fractures in children: the effect of weather conditions on their risk, In: Eur J Orthop Surg Traumatol. 2017 Feb;27(2):243-250. doi: 10.1007/s00590-016-1890-8. Epub 2016 Dec 5. PubMed PMID: 27917439.
89. Anjum R, Sharma V, Jindal R, Singh TP, Rathee N: Epidemiologic pattern of paediatric supracondylar fractures of humerus in a teaching hospital of rural India: A prospective study of 263 cases, In: Chin J Traumatol. 2017 Jun;20(3):158-160. doi: 10.1016/j.cjtee.2016.10.007. Epub 2017 Apr 19.
90. Schildberg FW, Hofmann GO, Kirschner MH: „Zum 125. Geburtstag von Martin Kirschner“, in: Der Chirurg 2005 ;76;85-90
91. Stolberg-Wernigerode O: „Kafka - Kleinfurher“, in: Neue deutsche Biographie, Band 11, Berlin 1977
92. Probst J: „Aus der Geschichte der Unfallchirurgie. Die Entstehung der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie“, in: Unfallchirurgie in Deutschland - Bilanz und Perspektiven, 1. Auflage, Hrsg: Oestern HJ, Probst J, Springer Verlag, Berlin- Heidelberg 1997
93. Povacz F: Geschichte der Unfallchirurgie, 2. Auflage Springer Verlag, Berlin- Heidelberg 2007
94. Maatz R, Lentz W: Die Marknagelung und andere intramedulläre Osteosynthesen, 1. Auflage, Schattiger Verlag GmbH, Stuttgart 1983
95. Na Y, Bai R, Zhao Z, Han C, Kong L, Ren Y, Liu W: Comparison of lateral entry with crossed entry pinning for pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis, In: J Orthop Surg Res. 2018 Apr 3;13(1):68. Doi:10.1186/s13018-018-0768-3
96. Waldt S, Eiber M, Wörtler K: Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie, 1. Auflage, Thieme Stuttgart 2011
97. Chang CH, Kao HK, Lee WC, Yang WE: Influence of obesity on surgical outcomes in type III pediatric supracondylar humeral fractures, In: Injury. 2015 Nov;46(11):2181-4
98. Li NY, Bruce WJ, Joyce C, Decker NM, Capello T: Obesity's Influence on Operative Management of Pediatric Supracondylar Humerus Fractures. In: J Pediatr Orthop. 2018 Mar;38(3):e118-e121

99. Holt JB, Glass NA, Shah AS: Understanding the Epidemiology of Pediatric Supracondylar Humeral Fractures in the United States: Identifying Opportunities for Intervention. In: J Pediatr Orthop. 2018 Feb 16. doi: 10.1097/BPO
100. Flynn K, Shah AS, Brusalis CM, Leddy K, Flynn JM: J Flexion-Type Supracondylar Humeral Fractures: Ulnar Nerve Injury Increases Risk of Open Reduction. Bone Joint Surg Am. 2017 Sep 6;99(17):1485-1487
101. Wirth CJ, Murtzschler W: Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie, 2. Auflage, Thieme Stuttgart 2009
102. Holt JB1, Glass NA, Bedard NA, Weinstein SL: Emerging U.S. National Trends in the Treatment of Pediatric Supracondylar Humeral Fractures. Joint Surg Am. 2017 Apr 19;99(8):681-687. doi: 10.2106/JBJS.16.01209.
103. Kirkman, T.W. (1996) Statistics to Use, in: <http://www.physics.csbsju.edu/stats/> , Stand 26. März 2007 (http://www.physics.csbsju.edu/stats/exact_NROW_NCOLUMN_form.html)
104. Oestern HJ, Rieger G, Jansen T: Intramedulläre Osteosynthesen beim Kind, in: Unfallchirurg 2000, 103:2±11, Springer-Verlag 2000
105. Prevot J, Lascombes P, Ligier JN: L'embrochage centromé dullairee lastiquetable: méthode d'osteosynthese des fractures des membres chez l'enfant. Principe et application au femur. A propos de 250 fractures suivies depuis 1979, in: Chirurgie 119:473–476 1993
106. Prevot J, Metaizeau J-P, Lascombes P: Stabiles elastisches intramedulläres Pinning: Ein neues Konzept der Behandlung der Schaftfraktur beim Kind, in: Hefte Unfallchirurg 230: 955±961 1993
107. Metaizeau J-P, Ligier JN: Le traitement chirurgical des fractures des os longues chez l'enfant. Chir (Paris) 121: 527±537 1984
108. Tomaszewski R, Wozowicz A, Wysocka-Wojakiewicz P: Analysis of Early Neurovascular Complications of Pediatric Supracondylar Humerus Fractures: A Long-Term Observation. Biomed Res Int. 2017; 2017: 2803790.
109. Tunku-Naziha TZ, Wan-Yuhana WMS, Hadizie D: Early Vessels Exploration of Pink Pulseless Hand in Gartland III Supracondylar Fracture Humerus in Children: Facts and Controversies. Malays Orthop J. 2017 Mar; 11(1): 12–17.
110. Seeley MA, Gagnier JJ, Srinivasan RC, Hensinger RN, VanderHave KL, Farley FA, Caird MS: Obesity and its effects on pediatric supracondylar humeral fractures. J Bone Joint Surg Am. 2014 Feb 5; 96(3): e18.
111. Wang SI, Kwon TY, Hwang HP: Functional outcomes of Gartland III supracondylar humerus fractures with early neurovascular complications in children. Medicine (Baltimore). 2017 Jun; 96(25): e7148.
112. Murtaza K, Wasim S, Pinak R, Park D: A Retrospective Study Comparing Crossed and Lateral Wire Configurations in Paediatric Supracondylar Fractures. The Open Orthopaedics Journal, 2017, 11, 432-438
113. Patriota GSQ, Assuncao F, Assuncao CA: What is the best fixation technique for the treatment of supracondylar humerus fractures in children? Rev Bras Ortop. 2017 Jun 7;52(4):428-434.
114. Naik LG, Sharma GM, Badgire K: Cross Pinning Versus Lateral Pinning in the Management of Type III Supracondylar Humerus Fractures in Children. J Clin Diagn Res. 2017 Aug; 11(8): RC01–RC03.
115. Lyons JP, Ashley E, Hoffer MM: Ulnar nerve palsies after percutaneous cross-pinning of supracondylar fractures in children's elbows. J Pediatr Orthop. 1998 Jan-Feb; 18(1):43-5.
116. Farnsworth CL, Silva PD, Mubarak SJ: „Etiology of supracondylar humerus fractures“, In: J Pediatr Orthop 1998 18(1):38-42Anhang

117. Kaiser MM, Kamphaus A, Massalme E, Wessel L: „Gekreuzte Kirschnerdraht-Osteosynthese der suprakondylären Humerusfraktur bei Kindern“, In: Operative Orthopädie und Traumatologie 2008 0:297-3090
118. Ahaoiza D, Furey A, Stone C: „Functional outcome of supracondylar elbow fractures in children: a 3-5 year follow up“, In: Can J Surg Vol.57, No.4 August 2014
119. Guner S, Guven N, Karadas S, Ceylan MF: ‘Iatrogenic or fracture-related nerve injuries in supracondylar humerus-fracture: is treatment necessary for nerve injury)“, In: European Review for Medical and Pharmacological Sciences 2013; 17: 815-819
120. Loder R, Krodel E, DÁmico K: „Temporal varaiaation in pediatric supracondyla humerus fractures requiring surgical intervention“, In: J Child Orthop (2012) 6:419–425
121. Aslan A, Konya MN, Özdemir A, “Open reduction and pinning for the treatment of Gartland extension type III supracondylar humeral fractures in children“, In: Strat Traum Limb Recon (2014) 9:79–88
122. Aksakal M, Ermutlu C, Sarisözen B: „Approach Approach to supracondylar humerus fractures with neurovascular compromise in children“, In: Acta Orthop Traumatol Turc 2013;47(4):244-249
123. Bales JG, Spencer HAT, Wong M et.al.:“The effects of surgical delay on the outcome of pediatric supracondylar humeral fractures“, In: J Pediatr Orthop 2010; 30(8):785-791
124. Kwiatkowska M, Dhinsa BS, Mahapatra AN: „Does the surgery time affect the final outcome of type III supracondylar humeral fractures?“, In: J Clin Orthop Trauma 2018 Mar;9: 112-115

6.1 Abkürzungsverzeichnis

α = Fehler der 1. Art

AO = Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

AWMF = Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften

c = Anzahl Spalten

df = Freiheitsgrade

ESIN = Elastisch-Stabile intramedulläre Nagelung

f = Prüfgröße (F-Test)

f[^] = erwartete Häufigkeiten

fc = kritischer Wert (F-Test)

g = Anzahl der untersuchten Stichproben

h = Zellen

(H₀) = Nullhypothese

(H_A) = Alternativhypothese

K. draht-Osteos. = Kirschnerdraht-Osteosynthese

p = Signifikanzniveau

μ = Stichprobe

N. = Nervus

n = Anzahl

OP = Operation

Rep. = Reposition

r = Anzahl Zeilen

s² = gewichtete Varianz

SHF = supracondyläre Humerusfraktur

t = Prüfgröße (T-Test)

tc = kritischer Wert (T-Test)

\bar{x} = Mittelwert 1. Stichprobe

$\chi^2 c$ = kritischer Wert (Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest/Chi-Quadrat-Test)

χ^2 -Wert = Prüfgröße (Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest/Chi-Quadrat-Test)

χ^2 -Test = Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest/Chi-Quadrat-Test

\bar{y} = Mittelwert 2. Stichprobe

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dargestellt werden die Teilgelenke des Ellenbogengelenkes mit Bewegungsachsen, Bewegungsausmaß (in Neutral-Null-Methode) und Bewegungsebene (20, 37).....	4
Tabelle 2: Frakturklassifikationsschema nach AO Pediatric Comprehensive Classification [Slongo T, Audige L: „AO Pediatric Classification Group (2007) AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fracture (PCCFF)“ in: www.aofoundation.org, September 2010].	5
Tabelle 3: Frakturklassifikation der suprakondylären Humerusfraktur nach Laer (5, 11, 22, 65).	5
Tabelle 4: Gartland-Klassifikation (50, 51).	5
Tabelle 5: Dargestellt werden die motorischen und sensiblen Ausfälle sowie die klinischen Zeichen bei Läsionen von N. radialis, N. ulnaris und N. medianus (82, 83, 85).	6
Tabelle 6: Dargestellt sind radiologische Zeichen bei Röntgenaufnahmen der suprakondylären Humerusfraktur (3, 11, 34, 40, 96).	8
Tabelle 7: Klinik, Radiologie und Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur je nach Frakturtyp nach Laer [Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 3.Aufl., Stuttgart; NewYork: Thieme 1996]..	9
Tabelle 8: Linscheid-Wheeler-Score [Eberl R: Iatrogenic ulnar nerve injury after pin fixation and after antegrade nailing of supracondylar humeral fractures in children, Acta Orthopaedica 2011; 82 (5), pp. 606–609].	14
Tabelle 9: Flynn-Kriterien [Longo UG, Francheschi F, Loppini M, Maffulli N, Denaro V: Rating systems for evaluation of the elbow, In: British Medical Bulletin 2008; 87 (1), pp. 131–161].	14
Tabelle 10: Dargestellt werden Wachstumsstörungen und Fehlstellungen im Rahmen der suprakondylären Humerusfraktur in Bezug auf ihre Ebene und Ursache sowie die aus der Fehlstellung resultierenden funktionellen Einschränkungen.	15
Tabelle 11: Dargestellt sind die Empfehlungen zur Nachbehandlung einer mit ESIN versorgten suprakondylären Humerusfraktur (8, 11, 15).	17
Tabelle 12: Patientenmerkmale, die zum Ein- beziehungsweise Ausschluss aus der Studie führten.	25
Tabelle 13: Fragebogen zur Datensammlung.	26
Tabelle 14: Kreuztabelle für Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest.	28
Tabelle 15: Kreuztabelle für Fisher-Exact-Test.....	29
Tabelle 16: Dargestellt ist der Anteil männlicher und weiblicher Patienten in den Altersgruppen der 0–3-, 4–6-, 7–10- und bei über 10-Jährigen.....	34
Tabelle 17: Anteil männlicher und weiblicher Patienten.	34
Tabelle 18: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten mit SHF, verteilt über Frühling, Sommer, Herbst und Winter.....	34
Tabelle 19: Dargestellt ist der Anteil der Freizeitunfälle und Schul- und Wegeunfälle.....	35
Tabelle 20: Dokumentierte Unfallursachen (n°=°93) nach Frakturtyp.....	35
Tabelle 21: Anzahl der Frakturtypen II, III und IV nach AO.	36
Tabelle 22: Anteil der offenen Frakturen.....	36
Tabelle 23: Dargestellt ist die Anzahl der initialen Nervenläsionen von Nervus medianus, ulnaris und radialis.	36
Tabelle 24: Verteilung der eingesetzten Behandlungsmethoden: ESIN, Kirschnerdraht-Osteosynthese mit offener oder geschlossener Reposition.	37

Tabelle 25: Dargestellt ist die Anzahl der implantierten Pins bei Kirschnerdraht-Osteosynthese.	38
Tabelle 26: Dargestellt sind die Tage bis zur Metallentfernung bei Kirschnerdraht-Osteosynthese und ESIN.	39
Tabelle 27: Anzahl der Patienten mit nicht komplikationslos verlaufendem Heilungsprozess und Anzahl der Patienten mit komplett gut verlaufender Heilung.	39
Tabelle 28: Anzahl der postoperativen Nervenläsionen von Nervus medianus, ulnaris und radialis (n°=°178).	39
Tabelle 29: Nachbehandlungszeiten der jeweiligen Nervenläsion.	39
Tabelle 30: Anteil der Patienten mit und ohne postoperative Bewegungseinschränkungen.	39
Tabelle 31: Statistische Analyse der Patienten mit Flexions- und Extensionseinschränkung. Einteilung der Schwere der Bewegungseinschränkung nach Lindscheid und Wheeler.	41
Tabelle 32: Nachbehandlungszeiten bei Patienten mit Bewegungseinschränkungen.	41
Tabelle 33: Anzahl aller Patienten mit Valgus- und Varusfehlstellungen.	41
Tabelle 34: Anzahl der Cubitus-valgus-/Cubitus-varus-Fälle in Bezug zur Krankengeschichte.	42
Tabelle 35: Anzahl der übrigen, passageren Komplikationen.	42
Tabelle 36: Dargestellt wird das Auftreten der Frakturtypen II bis IV nach AO in Bezug auf das Alter der Patienten (n = 177, p = 0.237).	44
Tabelle 37: Dargestellt wird das Auftreten der Frakturtypen II bis IV nach AO in Bezug auf das Geschlecht der Patienten (n = 177, p = 0.744).	44
Tabelle 38: Dargestellt wird der Einsatz der verschiedenen Repositionsmethoden in Bezug auf die Frakturtypen II bis IV nach AO (n = 88, p = 0.8537).	45
Tabelle 39: Dargestellt wird der Einsatz der verschiedenen Behandlungsmethoden in Bezug auf die Frakturtypen II bis IV nach AO (n = 177, p < 0.001).	45
Tabelle 40: Dargestellt wird die Wartezeit bis zur Operation in Minuten in Bezug auf die Frakturtypen II bis IV nach AO (n°=°177, p°<°0.001).	47
Tabelle 41: Dargestellt ist der Zeitpunkt der Operation in Bezug auf die Frakturtypen II bis IV nach AO (n = 177, p < 0.001).	47
Tabelle 42: Dargestellt ist der Anteil der Patienten, deren Heilung komplikationslos bzw. kompliziert verlief in Bezug auf die jeweilige Altersgruppe. Altersgruppen: 0–3,4–6,7–10, > 10 Jahre (n = 178, p = 0.032).	47
Tabelle 43: Dargestellt ist der Anteil der jeweiligen Komplikationen in Bezug auf die jeweilige Altersgruppe (Mehrfachnennung möglich) Altersgruppen: 0–3,4–6,7–10, > 10 Jahre (n = 178).	48
Tabelle 44: Dargestellt ist der Anteil der komplikationslosen und komplizierten Heilung in Bezug auf den Frakturtyp nach AO (n = 177, p = 0.001).	48
Tabelle 45: Dargestellt ist der Anteil der jeweiligen Komplikationen in Bezug auf den Frakturtyp nach AO (n = 177).	49
Tabelle 46: Dargestellt sind die Nachbehandlungszeiten in Bezug auf die jeweiligen Komplikationen.	49
Tabelle 47: Dargestellt ist der Anteil von komplikationslosen und komplizierten Heilungsverläufen in Bezug auf die gewählte Behandlungsmethode (n = 178, p = 0.048).	50
Tabelle 48: Dargestellt ist der Anteil von komplikationslosen und komplizierten Heilungsverläufen in Bezug auf die gewählte Repositionsmethode (n = 178, p = 0.1932).	50

Tabelle 49: Dargestellt sind die postoperativen Bewegungseinschränkungen in Bezug auf die gewählte Behandlungsmethode (n = 178, p = 0.2643).....	50
Tabelle 50: Dargestellt sind die postoperativen Bewegungseinschränkungen in Bezug auf die gewählte Repositionsmethode (n = 178, p = 0.4352).....	51
Tabelle 51: Dargestellt sind die postoperativen Nervenläsionen in Bezug auf die gewählte Operationsmethode (n = 178, p = 0.0231).	51
Tabelle 52: Dargestellt sind die postoperativen Nervenläsionen in Bezug auf die gewählte Repositionsmethode (n = 178, p = 0.0012).....	51
Tabelle 53: Dargestellt sind postoperativ aufgetretene Läsionen in Bezug auf die implantierten Pins bei der Kirschnerdraht-Osteosynthese (n = 178, p = 0.221).....	51
Tabelle 54: Dargestellt ist der stationäre Aufenthalt in Bezug zur gewählten Behandlungsmethode (n = 178, p > 0.05).....	52
Tabelle 55: Dargestellt ist der stationäre Aufenthalt in Bezug zur gewählten Repositionsmethode (n = 178, p = 0.0032).....	52
Tabelle 56: Dargestellt ist die Behandlungsdauer in Bezug zur gewählten Behandlungsmethode (n = 178).	52
Tabelle 57: Dargestellt ist die Behandlungsdauer in Bezug zur gewählten Repositionsmethode (n = 178, p = 0.0427).....	53
Tabelle 58: Dargestellt ist die Zeit der Sportkarenz in Bezug zur gewählten Behandlungsmethode (n = 178, p < 0.01).....	53
Tabelle 59: Dargestellt ist die Zeit der Sportkarenz in Bezug zur gewählten Repositionsmethode (n = 178, p = 0.0051).....	53
Tabelle 60: Dargestellt ist der komplikationslose bzw. komplizierte Behandlungsverlauf in Bezug zur Wartezeit bis zur Operation bei Typ-IV-Frakturen nach AO (n = 82, p = 1).	53
Tabelle 61: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten, die nach durchgeführter Operation am Folgetag nach Indikationsstellung Komplikationen erlitten im Vergleich zu denen, die am Aufnahmetag operiert wurden (n = 82, p = 1).	54
Tabelle 62: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten mit postoperativer N.-ulnaris-Läsion in Bezug zum Frakturtyp II bis IV nach AO (n = 177, p = 0.088).	54
Tabelle 63: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten mit postoperativer N.-ulnaris-Läsion in Bezug zur Behandlungsmethode (n = 178, p = 0.0262).....	54
Tabelle 64: Dargestellt ist die Anzahl der Patienten mit postoperativer N.-ulnaris-Läsion in Bezug zur Repositionsmethode (n = 88, p = <0.0001).....	55
Tabelle 65: Dargestellt ist die Verteilung der Frakturseite (Rechter Arm/ Linker Arm) bei Barr 2014 (24), Weinberg 2002 (25), Madjar-Simic 2012 (34), Zionts 2009 (44), Young 2010 (45), Anjum 2017 (89), Barron-Torres 2015 (13), Maity 2012 (35), Memisoglu 2011 (41) und Balakumar 2012 (63).	59

6.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeichnung eines Kindes, welches in typischer Art und Weise auf den ausgestreckten Arm stürzt. [Eigene Zeichnung]	2
Abbildung 2: Pfeil: anteriores „fat-pad-sign“ Dreieck: posteriores „fat-pad-sign“ [Gaurav G: “The Fat Pad Sign” - Radiology (2000), 222(2); pp. 419-420]	7
Abbildung 3: Einteilung der Frakturtypen I-IV der supracondylären Humerusfraktur nach Laer [Schneidmüller D, Marzi I, Meenen N : Supracondyläre Humerusfraktur beim Kind, in: www.awmf.org (AWMF online der Leitlinienkommission der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.) Oktober 2015]	8
Abbildung 4 : Intramedulläre Nagelung am Humerus: Antegrade Nagelung bei einer distalen Oberarmfraktur [Prevot J, Lascombes P, Ligier JN: “L’embrochage centromé dullairee lastiquetable méthode d’osteosynthese des fractures des membres chez l’enfant”, In: Chirurgie 119, 1993 pp.473-476]	20
Abbildung 5 : Korkenziehereffekt nach dem Einbringen von Markraumnägeln [Veigel B, Kraus R, Illian C, Rixen D: „Elastisch-stabile intramedulläre Nagelung - Möglichkeiten und Grenzen eines Osteosyntheseverfahrens“, In: Trauma und Berufskrankheit 2012 14;4 pp. 284-291]	20
Abbildung 6: Alter der Patienten in Jahren	33
Abbildung 7: Frakturlokalisation	34
Abbildung 8: Dokumentierte Unfallursachen (n=89)	35
Abbildung 9: Anzahl der initialen Nervenläsionen von N.medianus, ulnaris und radialis	37
Abbildung 10: Anzahl der postoperativen Nervenläsionen von N.medianus, ulnaris und radialis	39
Abbildung 11: a) lateral + b) a.p.: männlich, 8 J., Z.n. Extensionsfraktur Typ 4 links, Z.n. offener Reposition und Kirschnerdrahtosteosynthese, Dislokation bei erneutem Trauma, deutliches Mehrwachstum des radialen Condylus bei Minderwachstum der medialen Seite mit Hochstand des Epicondylus ulnaris, leichte Dorsalabweichung des distalen Fragmentes in der seitlichen Ebene, Beuge- und Streckdefizit: 60°	43
Abbildung 12: Dargestellt ist die Verteilung der Frakturtypen 2-4 nach AO in Bezug auf die gewählte Behandlungsmethode	44
Abbildung 13: Wartezeit bis zur Operation in Stunden. Dargestellt sind die Anzahl der Patienten, welche unter 6, 6 bis 24, 24-48 und über 48 Stunden (h) warteten	45
Abbildung 14: Wartezeit bis zur Operation. Dargestellt sind die Anzahl der Patienten, welche unter 6, 6 bis 24, 24-48 und über 48 Stunden (h) warteten, sortiert nach Frakturtyp nach AO. (n=177, p<0.001) .	46
Abbildung 15: Wartezeit bis zur Operation in Minuten in Bezug auf den Frakturtyp II-IV nach AO. (n=177, p<0.001)	46
Abbildung 16: Anteil der jeweils komplikationslosen, bzw. komplizierten Behandlungsverläufe in Prozent in Bezug auf das Alter der Patienten. Altersgruppen: 0-3, 4-6, 7-10, >10 Jahre	47

7 Danksagung

Prof. Dr. Dr. Hans-Georg Dietz danke ich für die Vergabe des interessanten Promotionsthemas, für die Möglichkeit, diese Arbeit im Dr. von Haunerschen Kinderspital der Ludwig-Maximilians-Universität in München durchführen zu können und die sorgfältige Durchsicht der Arbeit.

Mein Dank gilt ebenso Frau Dr. Blanca Schuster. Jederzeit gewährte sie mir bei der Planung, Durchführung und Auswertung der vorliegenden Arbeit außerordentlich sachkundige und wertvolle Unterstützung. Ihre wegweisenden Ratschläge haben wesentlich zum Erstellen der Arbeit beigetragen. Jede Phase dieser Arbeit wurde von ihr intensiv, professionell begleitet. Besonders bedanken will ich mich für die zur Verfügung gestellte Literatur und Beratung bei statistischen Problemen. Ihr kompetenter Rat und ihre Hilfe kam mir in zahlreichen Angelegenheiten zugute.

Ich möchte mich weiterhin bei allen bedanken, die mir diese Arbeit ermöglicht haben:

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Eltern und meine Großmutter, die mir das Studium der Humanmedizin ermöglichten und mir auch während der Anfertigung der Doktorarbeit immerzu unterstützend zur Seite standen. Ganz besonderen Dank dafür, dass Sie immer das Beste für meine Schwester und mich tun und bereit sind alles Erdenkliche dafür zu geben.

Ich danke ganz besonders meiner Schwester Katja Poredda, für ihre schwesterliche Freundschaft, jede Unterstützung und den Beistand, den Du jederzeit zu geben bereit bist.

Meinen besten Freunden danke ich aus ganzem Herzen für alles.

Danke für Eure Freundschaft und jeden anderen wertvollen, unterstützenden Beistand.

Meinem Mann Stephan Ingerl danke ich von ganzem Herzen für seine Unterstützung, seine Liebe und seine Selbstverständlichkeit, mit der er mir jeden Tag zur Seite steht.



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Promotionsbüro
Medizinische Fakultät



Eidesstattliche Versicherung

Poreda, Saskia

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

Operative Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur im Kindesalter mit ESIN und Kirschnerdraht-Osteosynthese - eine Komplikationsanalyse

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Karlsruhe, 13.11.2019

Ort, Datum

Saskia Poreda

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand

